

(32) 逆流防止装置の異常検出に関する研究

伊藤 雅喜¹・山田 俊郎^{1*}・馬場 崇²・林田 武志³・秋葉 道宏¹

¹国立保健医療科学院水道工学部 (〒351-0197埼玉県和光市2-3-6)

²東京都水道局研修・開発センター (〒158-0085世田谷区玉川田園調布1-19-1)

³千葉県水道局技術部 (〒262-0032千葉県千葉市花見川区幕張5-417-24)

* E-mail: t-yamada@niph.go.jp

本研究は、逆止弁を有する逆流防止装置を対象に、弁前後の流量と圧力を連続観測することによって、通水状態や負圧発生状態等における弁動作を把握するとともに、異物の噛み込み等の異常発生時における弁動作の特徴を明らかにし、弁動作状況から逆流防止装置の異常状態を迅速に検知する手法を開発することを目的としている。単式バネ式逆流防止弁および二重式バネ式逆流防止弁を対象として、正圧、逆圧、負圧の各圧力条件において、弁の機能が正常である場合と針金を噛み込んだ場合における弁前後の圧力および流量変化の違いを明らかにし、その差異に基づいた弁異常の判断法を提案した。

Key Words: plumbing, backflow prevention, check valve, double check valve, detection of clogging

1. はじめに

2004年6月に厚生労働省健康局から発表された「水道ビジョン」において、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ことが長期的な政策目標に掲げられており、その中で、給水末端である給水装置・用具の安全性確保、信頼性の向上は、安心快適な水を確保に係る主要な施策の一つである¹⁾。近年、老朽化施設の更新、おいしい水への要望の高まり、地球温暖化にともなう水道施設の低エネルギー化等を背景として直結加圧給水方式の普及を積極的に進められてきており、また生活スタイルの変化から様々な種類の給水装置が使われ、水道管に直結する給水用具は多様化し、数多く使用されるようになった。給水装置・用具が水道管に直結されると、例えば増圧直結方式の増圧ポンプや受水槽の保守点検時において管内での負圧の発生や、従来受水槽等で確保された吐水口空間がなくなることによって、給水装置末端から汚染された水が引き込まれる“逆流”が発生するリスクが知られている。逆流は建築物内の給水システムのみならず広範囲に被害が拡大する可能

性があり、実際に循環式風呂釜等の給水用具からの風呂水の水道管への逆流事故や、農地や工場から水道管へ薬品等が逆流し、水道水を飲用した住民の健康被害が生じた事故²⁾が発生している。そのため給水装置末端からの汚染混入を阻止する逆流防止装置は給水装置・器具の安全性確保の上で極めて重要な課題となっている。

日本において、逆流のおそれのあるところでは逆流防止弁（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おり、給水装置には様々な構造の逆流防止装置が組み込まれているが、近年、逆流防止装置として一般的な逆止弁の、経年劣化や配管中に含まれる異物³⁾の噛み込み等による逆流防止性能の低下が報告されている^{4) 5) 6)}。一般に、逆流防止装置は耐圧性能基準等を満たす必要があるため主要部品は金属製で日常的な監視・点検が困難な構造となっているため、現状では通水時に装置の機能不良を検知することができない。また、通常の使用時や異常発生時における逆止弁の挙動の実態についても明らかにされていない。そこで本研究は、逆止弁を有する逆流防止装置を対象に、弁前後の流量と圧力を連続観測することによって、通水状態や負

圧発生状態等における弁動作を可視化して把握するとともに、異物の噛み込み等の異常発生時における弁動作の特徴を明らかにし、弁動作状況から逆流防止装置の異常状態を迅速に検知する手法を開発することを目的とした。

2. 方法

本研究では、汎用性の高いバネ式逆止弁を有する単式バネ式逆流防止弁（単式逆止弁）および二重式バネ式逆流防止弁（二重式逆止弁）の2種類の逆流防止器具を対象として、逆止弁が正常に動作している状態（弁正常状態）および異物の噛み込み等異常な状態（弁異常状態）における、様々な圧力条件下での器具前後の圧力及び流量を測定し、結果を比較検討した。各作動状況におけるこれらデータの解析を容易にするため、実験では、各条件に応じた圧力が一定値に収束するように段階的な圧力操作（バルブを段階的に開閉操作）をし、測定した各データの安定した値について解析を行った。

(1) 供試器具

給水用具に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、逆流防止器等に広く活用されていること、設置姿勢に制約が無く、比較的コンパクトで設置し易いこと、様々な状況での逆流防止効果が高いと考えられること、日本水道協会において既に規格化されており、製品性能を評価しやすいこと、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が多い径であること、の理由により、口径20mmの単式逆止弁および二重式逆止弁を実験の供試器具とした。単式逆止弁、二重式逆止弁ともに日本水道協会規格「水道用逆流防止弁（JWWA B 129）」認証品を用いた。

a) 単式逆止弁

バネ圧の違いによる逆流防止性能を比較するため、バネ定数の異なる3種類の単式逆止弁を実験に用いた（図1）。単式逆止弁Aは、通常の市販品である口径20mmの単式逆止弁であり、バネ定数は0.076kgf/cm（75N/m）である。単式逆止弁BおよびCは、二重式逆止弁の二次側弁を取り除いた改造品であり、それぞれバネ定数は0.533kgf/cm（523N/m）、1.667kgf/cm（1635N/m）である。また、異常状態を

再現する時には、単式逆止弁D（バネ定数0.557kgf/cm（523N/m））を用いた。

b) 二重式逆防弁

バネ圧の違いによる逆流防止性能を比較するため、2種類の二重式逆止弁（EおよびF）を用いた（図1）。二重式逆止弁Eの一次側弁および二次側弁のバネ定数はともに0.557kgf/cm（523N/m）であり、二重式逆止弁Fにおける一次側の弁のバネ定数は1.31kgf/cm（1285N/m）、二次側弁は0.557kgf/cm（523N/m）である。

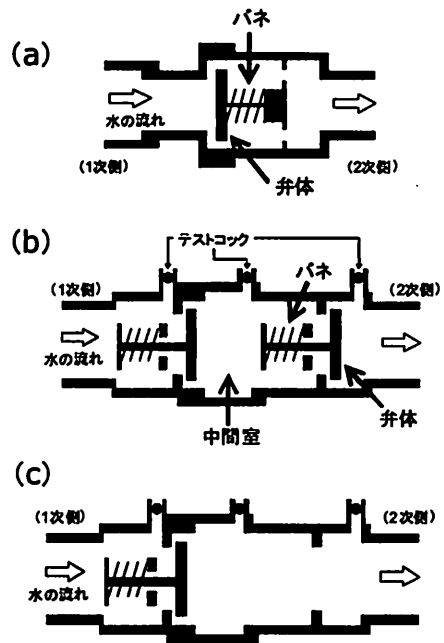


図-1 単式逆止弁と二重式逆止弁の概略図。(a)単式逆止弁（本研究で用いた弁AおよびD）(b)二重式逆止弁（弁EおよびF）(c)二重式逆止弁の二次側弁を取り除いたもの（弁BおよびC）

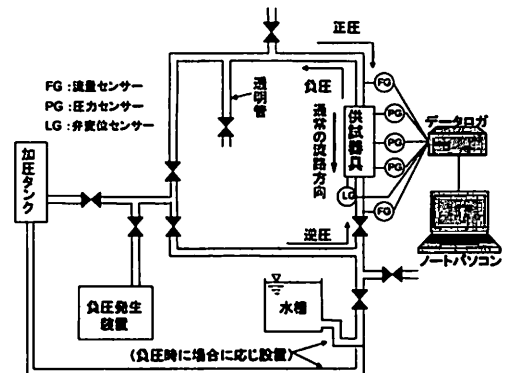


図-2 実験装置

(2) 実験装置と測定項目

実験装置の概略を図2に示す。供試器具の流入口側（一次側）に発生する圧力（正圧）または供試器具出口（二次側）に発生する圧力（逆圧）の再現には、加圧タンクを用いた。また一次側に発生する負圧は負圧発生装置を使用した。より現実的な使用条件を想定し、供試器具二次側に加圧タンクによる配管または水槽を設置して負圧発生と同時に逆圧を発生させた。逆流の状況は、供試器具一次側の配管途中に透明管を設置し目視で確認した。各実験において、逆止弁の一次側、二次側にそれぞれ電磁式流量センサー、圧力センサーを設置し、流量および圧力を測定した。二重式逆止弁については、中間室の圧力も測定した。計測したデータはデータロガーで100ms毎に記録した。

(3) 実験条件

a) 異常状態の再現

各供試器具で発生する様々な異常状態のうち、状況の再現が容易で異常状態の程度を操作できる異物の噛み込み状態を実験対象とした。すなわち、逆止弁の弁体と弁座の間に、異物を想定した針金を挿入した。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、口径20mmの供試器具に対して径1.0mmの針金を噛み込ませた状態を再現し、実験に用いた(図3)。

二重式逆止弁は器具に2つの逆止弁があるため、

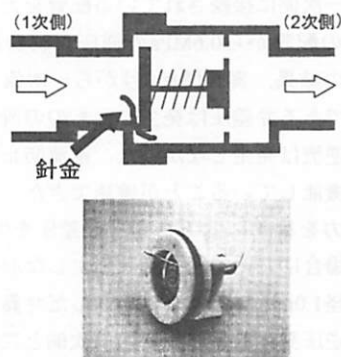


図-3 逆止弁に針金を噛み込ませた位置（上）および弁と針金の状況（下）

一次側の逆止弁（一次側弁）のみに針金を挿入した場合、二次側の逆止弁（二次側弁）のみに針金を挿入した場合、一次側弁二次側弁ともに針金を挿入した場合、のそれぞれについて検討した。

b) 圧力条件

以下のように各圧力条件を設定した。

正圧：中高層建物に使用する増圧直結給水設備において日本水道協会規格「水道用直結加圧形ポンプユニット（JWWAB130）」が採用されることが多く、当該規格として最大吐出圧は0.75MPaと規定されているため、最大設定圧を0.8MPaとし、実験条件として0.1 MPaから0.8MPaに設定した。

逆圧：増圧直結給水設備により加圧した場合の給水立で管基部にかかりうる最大背圧を想定し、最大設定値を0.6MPaとし、実験条件として0.1 MPaから0.6MPaに設定した。

負圧：米国のバキュームブレーカ規格ASSE1001において、最大負圧値を-85kPaとしているため、これを最大設定値とし、実験条件として-5kPaから-85kPaに設定した。

なお各実験において、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た。

3. 結果と考察

(1) 単式逆止弁の挙動

a) 正圧条件下での逆止弁の動作状況

正圧 0.8MPa を発生させて弁を段階的に開けながら流量を増加させた時の、弁正常状態の単式逆止弁Bの一次側圧力、二次側圧力、一次側と二次側の圧力差（弁差圧）、流量の変化の様子を図4に示す。弁正常状態では正圧上昇開始前の停水時において0.015MPaの弁差圧が生じていた。通水が開始し流量が増加すると、一次側および二次側の圧力はともに低下し、弁差圧は0.020MPa程度まで上昇した。その後は流量の増加に伴い、一次側および二次側の圧力は継続して低下するが、弁差圧は変化せずほぼ一定であった。その後、正圧を減少させ停水すると（83秒時点）、一次側および二次側の圧力、弁差圧ともに実験開始前と同じ値を示し、通水前と同じ状態になった。

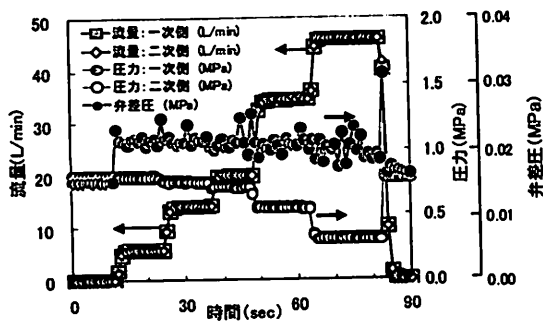


図-4 弁正常状態における単式逆止弁の弁動作の例
(単式逆止弁B, 正圧: 0.8MPa)

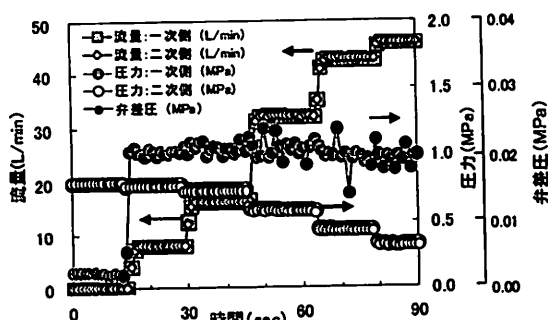


図-5 弁異常状態の単式逆止弁における弁動作の例
(単式逆止弁B, 正圧: 0.8MPa)

径 1.0mm の針金を噛み込んだ弁異常状態の単式逆止弁 B における弁動作の状況を図 5 に示す。弁正常状態時と異なり、正圧が上昇開始前の停水時に弁差圧はほとんど発生せず 0MPa に近い値を示したが、正圧を上昇させ通水が開始した後の各圧力、流量の変化は弁正常状態時と同様の傾向であった。正圧を減少し停水すると通水前の状態と同様に回復し、弁差圧も 0MPa となった。流量は、実験中、一次側、二次側とも同じ値を示し両者に差がないことが確認できる。バネ定数の異なる単式逆止弁 A および C についても同様の実験を行った結果、弁正常時における停水中の弁差圧、通水中の弁差圧の値は、逆止弁のバネ定数による差がみられたが、一連の正圧変化に対する弁に対する圧力および流量の変化は単式逆止弁 B と同様の傾向が確認できた。

以上の結果をもとに、弁正常状態及び弁異常状態について、各設定正圧条件下での弁差圧と流量の関係をまとめたものを図 6 に示す。弁正常状態において、正圧条件の大きさによらずほぼ同様の弁差圧と流量の関係があることが分かる。また、弁正常状態

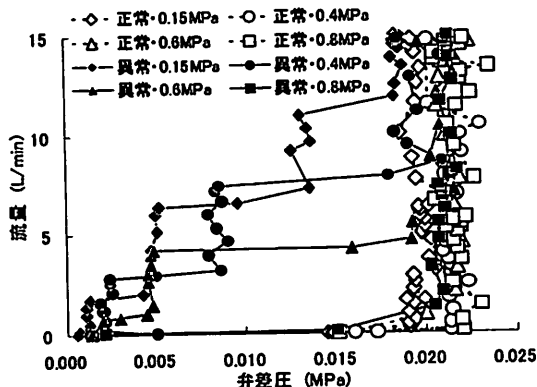


図-6 各正圧条件における弁正常状態および弁異常状態における単式逆止弁Bの弁差圧と流量の関係

と弁異常状態を比較した場合、弁正常時には流量が発生する通水開始時に 0.015MPa 程度の弁差圧（最低作動弁差圧）が必要であるが、弁異常時はより低い弁差圧で流量が発生している。すなわち日常の正圧状況においても弁の異常を弁作動の最低作動圧によって判定できることが示唆された。また、バネ定数の異なる単式逆止弁 A および C に対する実験結果から、逆止弁 A および C の最低作動弁差圧はそれぞれ 0.002~0.003MPa および 0.05MPa と、最低作動弁差圧がバネ定数に比例しており、逆止弁構造に応じた固有の最低作動弁差圧が存在していることが分かった。

b) 逆圧条件下での逆止弁の動作状況

弁の二次側に逆圧を発生させ、0.6MPa まで上昇させた時の、弁正常状態の単式逆止弁Bの一次側圧力、二次側圧力、弁差圧（一次側と二次側の圧力差）、流量の変化を図7に示す。弁正常時では実験当初に弁一次側に接続されている配管を大気開放し、弁二次側の配管から0.6MPaの逆圧を瞬時に発生させた。その結果、実験開始0秒から一次側と二次側の圧力差である弁差圧は発生したものの流量は観測されず、逆流は発生しなかった。逆流防止装置として正常に機能していることが確認できた。その後、二次側圧力を徐々に低下させ、弁差圧を0MPaまで近付けた場合においても逆流は発生しなかった。

一方、径1.0mmの針金を噛み込んだ弁異常状態において、逆圧発生前は逆止弁の一次側と二次側は同圧となり弁差圧は0MPaであったが、一次側圧力を低下させると直ちに負の弁差圧が発生し、針金噛み

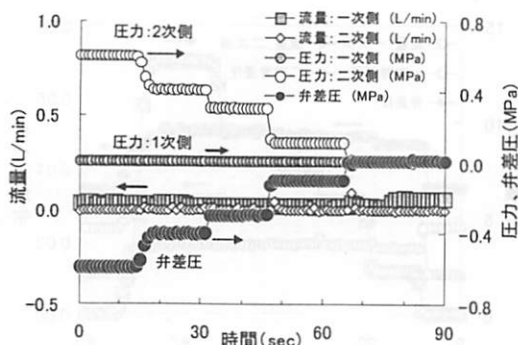


図-7 逆圧条件における弁正常状態の弁動作の例
(単式逆止弁B, 逆圧: 0.6MPa)

による弁体と弁座との間の隙間から逆流が発生した。さらに一次側圧力を徐々に低下させると弁差圧が負方向に増大し、これに伴い逆流量も増大したが、弁差圧 -0.011MPa 、流量 -4.1L/min まで達すると、瞬時に弁差圧は -0.25MPa に、流量は -0.9L/min に急激に変化した(図8)。その後、一次側の減圧状態を徐々に解消しながら弁差圧を 0MPa に変化させると、逆流量はそれに伴い減少し、停水した。負方向への弁差圧を上昇させた時、弁差圧の急激な上昇と流量の急減少が観測されたのは、弁差圧上昇に伴い針金の弁体等への急激な陥入やパッキン等の急激な変形が起こることによって異物を噛み込ませた弁体と弁座の隙間が急に狭くなったためと考えられる。以降、この負方向への弁差圧による弁差圧の急上昇と流量の急減少を伴う変化現象を変形と呼ぶ。変形発生時の弁差圧及び流量は、弁のパネ定数により値が異なるが、一連の弁動作の特徴は同様の傾向が確認された。

以上の結果をもとに、逆圧条件における変形前後の弁差圧と流量の関係を図9に示す。弁正常状態での

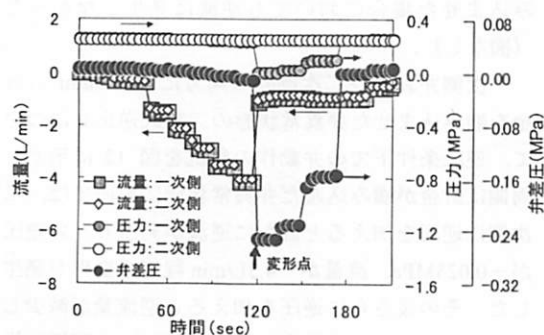


図-8 逆圧条件における弁異常状態の弁動作の例
(単式逆止弁C, 逆圧: 0.25MPa)

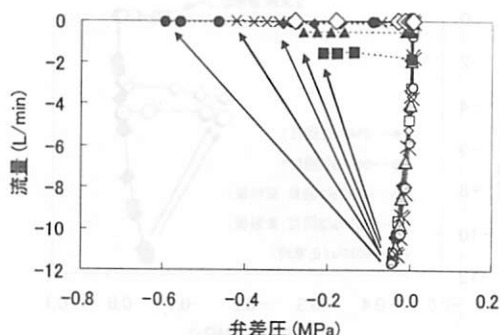


図-9 各逆圧条件における弁異常状態の単式逆止弁Aの弁差圧と流量の関係

は逆流はなく、弁異常状態では逆圧発生後に逆流が生じた。弁差圧が負方向に増大するとともに逆流量が増大し、ある一定の弁差圧を超えた時に逆流量が急減少し、それ以降は流量と弁差圧の関係が大きく変化したことが分かった。変形点における弁差圧はバネ定数の違いによらず -0.05MPa 程度とほぼ一致していた。単式逆止弁A, B, Cの逆圧条件での逆流量の最大値は、それぞれ約 -11.5L/min 、 -10L/min 、 -3.6L/min と、バネ定数が大きくなるほど少ない傾向がみられた。バネ定数の大きい逆止弁は弁体と弁座の隙間がより狭くなり、その結果同程度の弁差圧において逆流量が小さくなったと考えられる。

c) 負圧条件下での逆止弁の動作状況

弁正常状態の単式逆止弁に対して、負圧を弁一次側に発生させて -85kPa まで変化させた。負圧条件下での弁動作や弁差圧及び流量の変化は逆圧条件下と同様の傾向がみられた。すなわち、弁正常状態では実験当初に供試器具の一次側と二次側を同圧としたため弁差圧は発生せず、一次側を負圧状態とすると直ちに負の弁差圧 -0.19MPa 程度が発生したが、逆流は発生せず、弁体が正常に機能していることが確認された。一方、弁異常状態では一次側を負圧状態とすると直ちに負の弁差圧と逆流量が発生しており、弁体と弁座との間の隙間から逆流が生じていることが確認された。さらに負圧を加えると弁差圧が

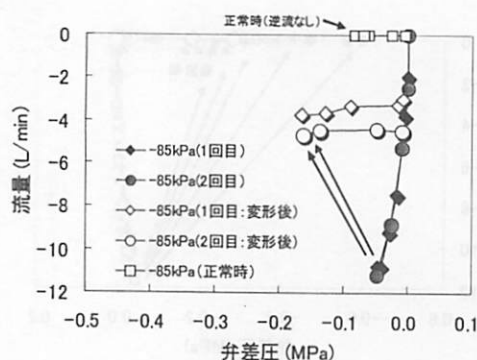


図-10 弁異常状態における単式逆止弁Aの弁差圧と流量の関係（負圧：-85kPa）

負方向に増大し、これに伴い逆流量も増大したが、弁差圧 -0.015MPa 、流量 -2.5L/min 程度まで達すると、瞬時に弁差圧 -0.055MPa 、流量 -2.0L/min 程度まで急変動する変形現象が生じた。変形後は、一次側の負圧状態を徐々に解消しながら弁差圧を 0MPa に近付けるにつれて逆流量も次第に減少しながら停水した（図省略）。

負圧条件下における単式逆止弁Aの弁差圧と流量の関係を図10に示す。前述の逆圧条件下と同様に、負圧条件下でも弁正常状態では逆流は発生せず、弁異常状態で直ちに逆流が発生し、さらに弁差圧が負方向に増大すると変形が発生し、変形点以上の逆流量は発生しないという特徴が見られた。変形点に関しては、弁差圧 -0.05MPa 、最大逆流量 -11L/min 程度と逆圧条件の場合とほぼ一致しており、変形発生後の状況も逆圧条件の場合と同様であった。負圧条件では逆圧条件下よりも変形後の弁差圧が低く、逆流量が大きい。これは負圧による吸引力だけでは弁体と弁座を密着させるために必要な負方向への弁差圧を発生させられなかったことが原因と考えられる。

(2) 二重式逆止弁の挙動

弁正常状態における二重式逆止弁Eにつき、正圧条件下での弁差圧および流量の変化の例を図11に示す。なお、二重式逆止弁において、一次側圧力と二次側圧力の差を弁差圧、一次側圧力と中間室（一次側弁と二次側弁との間の空間、図1(b)を参照）の圧力を一次側弁差圧、中間室の圧力と二次側圧力の差を二次側弁差圧とした。弁正常状態で一次側に正圧 0.2MPa を加えて段階的にバルブを開けると、一次側弁、二次側弁ともに弁差圧がそれぞれ

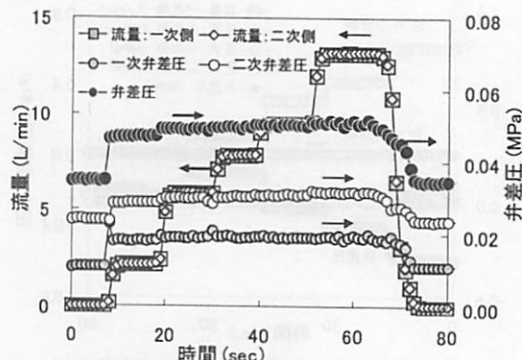


図-11 弁正常状態の二重式逆止弁の弁動作の例（二重式逆止弁E、正圧： 0.2MPa ）

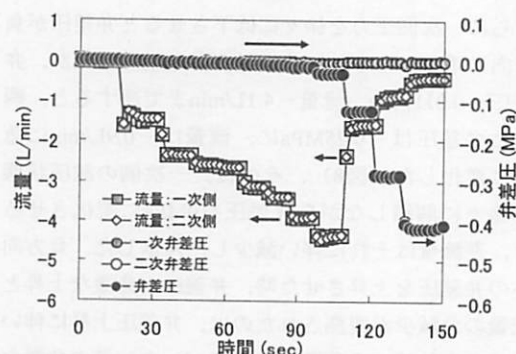


図-12 弁異常正常状態の二重式逆止弁の弁動作の例（二重式逆止弁E、逆圧： 0.2MPa ）

0.018MPa 、 0.029MPa の時に流量が 2.2L/min 流れ、その後、弁差圧が上昇するとともに、流量が増大している。一方、正圧を段階的に低下させた場合、二次側の弁差圧から低下し、次いで一次側から減少する挙動が見られた。逆圧条件及び負圧条件では弁が正常に機能し、逆流は発生しなかった。また、一次側のみ針金を噛み込ませた場合、二次側のみ針金噛み込ませた場合においても逆流は発生しなかった（図なし）。

一次側弁および二次側弁の両方に径 1.0mm の針金を噛み込ませた弁異常状態の二重式逆止弁について、逆圧条件下での弁動作の状況を図12に示す。両側に針金が噛み込んだ弁異常状態においては、二次側に逆圧を加えると直ちに逆流が発生し、弁差圧が -0.023MPa 、流量が -4.3L/min 程度で変形が発生した。その後さらに逆圧を加えると逆流量が減少した。一次側に負圧を加えた場合においても同様に逆流が発生した。

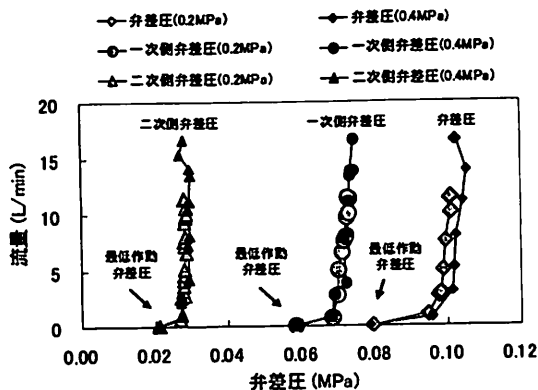


図-13 弁正常状態における二重式防止弁Fの弁差圧と流量の関係（正圧：0.2MPaおよび0.4MPa）

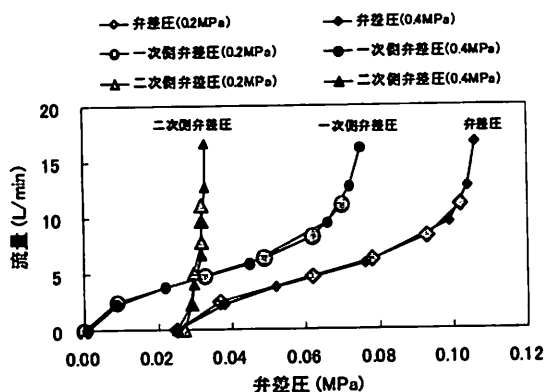


図-14 一次側弁に異常状態が生じた二重式逆止弁Fの弁差圧と流量の関係（正圧：0.2MPaおよび0.4MPa）

弁正常状態および一次側弁異常状態における二重式逆止弁Fの正圧条件での弁差圧と流量の関係をそれぞれ図13、図14に示した。弁正常時では一次側弁、二次側弁及び供試器具にはそれぞれ固有の最低作動弁差圧が存在していることがわかる。一次側弁、二次側弁、両側弁での針金噛み時では、針金を噛み込んでいる側の弁で、最低作動弁差圧以下で通水を開始することが明らかとなった（図14）。逆圧を加えた時、正常時、一次側弁あるいは二次側弁針金噛み時には逆流は発生しないが、両側ともに弁異常が発生している時に逆流が発生していた。以上より、二重式逆止弁では、停水時における弁差圧と最低作動弁差圧との比較が異常検知に有効であることが分かった。

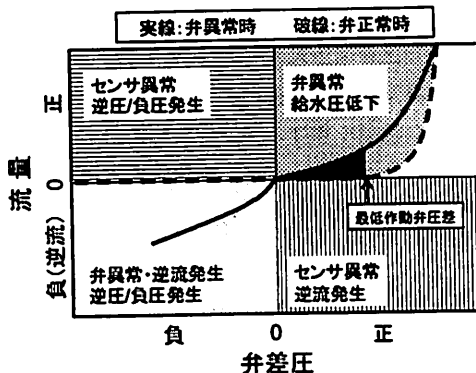


図-15 弁差圧と流量に基づく単式逆止弁の弁異常検知（概念図）

(3) 逆止弁機能の異常検知手法の検討

これまでの結果から、変形点から正圧までの種々の圧力条件下において、逆止弁を有する逆流防止装置には弁差圧と流量との間に一定の関係があり、弁の状態によって異なることが明らかになった。すなわち、負方向への弁差圧が発生した場合、正常時には逆流は発生しないが、針金噛み時には直ちに逆流が発生する。また、正方向への弁差圧が発生した場合、正常時には最低作動弁差圧が確保できるまでは通水を開始しないが、針金噛み時には直ちに通水を開始する。

以上の結果から、単式逆止弁に関しては正圧条件で最低作動弁差圧を利用した異常検知、逆圧（負圧）条件で逆流の有無により、いずれの場合でも弁異常検知が可能であるといえる。これまでの結果をもとに、図15に、弁差圧及び流量による単式逆止弁の弁異常検知手法の概念図としてまとめた。

4. まとめ

本研究では、逆流防止装置として汎用的な単式逆止弁、二重式逆止弁を対象として、想定される圧力条件下で弁にかかる圧力と流量を観測し、弁動作の特徴を明らかにするとともに、弁差圧と流量の関係から逆流防止装置の異常状態を検知する手法を提案した。すなわち、単式逆止弁において、正圧によって弁が作動するための器具固有の最低弁差圧が存在し、弁差圧と流量の関係をモニタリングすることによって、弁最低作動圧の変化から逆止弁の異常状態を検知できる。また、二重式逆止弁について単式逆

止弁の弁差圧と流量の関係から、中間室圧力の検知を必要としない弁差圧だけを検知してもある程度まで異常検知に有効であることが分かった。

今後、異常検知装置付逆流防止装置の実用化に向け、様々な種類や程度の弁異常状態に対応するための精度の向上、低コスト化、維持管理方法の確立等について検討する必要がある。

謝辞：本研究の一部は、厚生労働科学研究費補助金「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」により実施した。

参考文献

1) 厚生労働省健康局: 水道ビジョン改訂版, 2008.

2) World Health Organization : 15.4 Guidance for protective devices, Health Aspects of Plumbing, pp93-94, 2006

3) 日本水道協会: 日本の水道生物 -写真と解説- 改訂版, pp209-218, 2008.

4) 坂本 武司, 平松 良規, 岡田 大輔: 逆止弁のメンテナンスに関する一考察, 第 57 回全国水道研究発表会講演集, pp.466-467, 2006.

5) 長谷川 均, 大杉 直希, 峠 彰男, 田野井 隆, 岡崎 修二: 既設逆止弁の経年劣化による逆流防止性能試験報告, 第 57 回全国水道研究発表会講演集, pp.462-463, 2006.

6) 金子 晃, 関 隆幸, 金井 宏之, 濱野 喜衣: 逆止弁のゴム製パッキンの劣化と逆流防止性能に関する一考察, 第 58 回全国水道研究発表会講演集, pp.470-471, 2007.

(2009. 5. 22. 受付)

Study on Failure Detection of Plumbing Check Valve

Masaki ITO¹, Toshiro YAMADA¹, Takashi BABA², Takeshi HAYASHIDA³
and Michihiro AKIBA¹

¹Dept. of Water Supply Engineering, National Institute of Public Health

² Bureau of Waterworks Tokyo Metropolitan Government

³ Chiba Prefectural Waterworks Bureau

This study aimed at the development of a failure detection method on plumbing check valves based on monitoring results of differential water pressure between the valve inlet and outlet and flow rate through the valve. The relationships between the differential pressure and flow rate of both single spring check valve and double check valve under the positive pressure, back pressure and negative pressure was demonstrated and some different characteristics were found between the valve with regular function and the impaired one. A failure detection method with the differential water pressure and flow rate was proposed and shown to be available in this study.