

2) 正常時における逆圧下での実験 (実験 2)

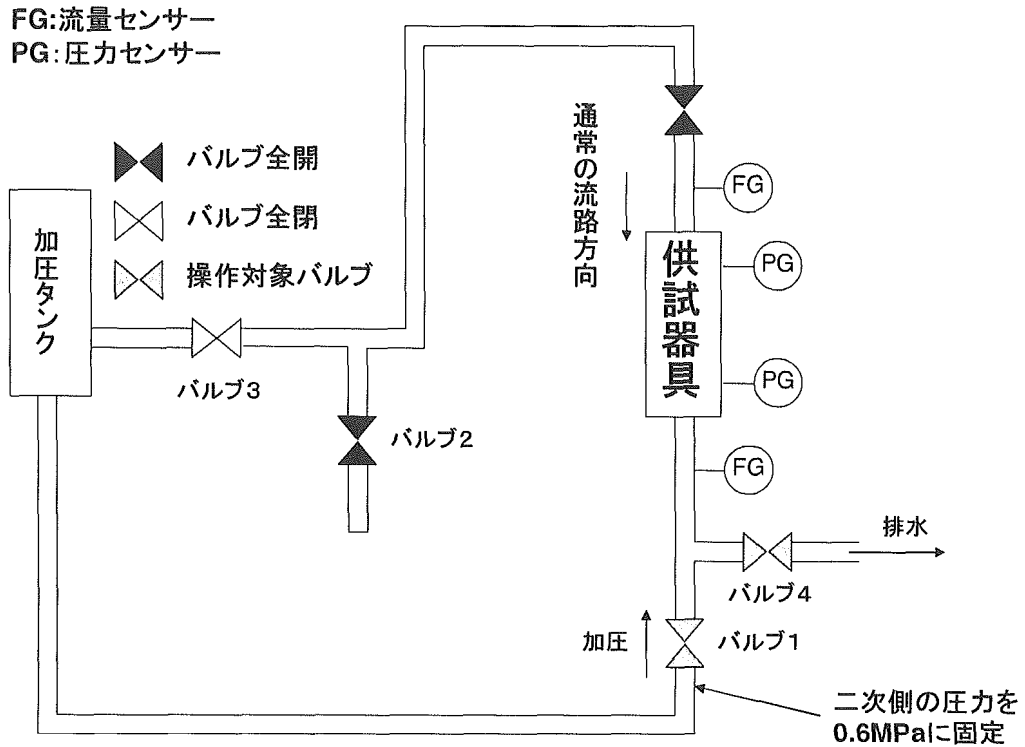


図9 正常時における逆圧下での実験装置

<手順>

各製品を正常時のまま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全開、バルブ4全閉の上、図9に示す状態とする
- (2) 加圧タンクを用いて二次側圧力を0.6MPaに設定する
- (3) バルブ1全開、バルブ4全閉のまま各部エア抜きを行い、供試器具二次側まで管内を充水する
- (4) 圧力及び流量データ収録を開始する
- (5) バルブ4を徐々に断続的に全開まで開操作する(各開度で流量が発生しないことを確認する)
- (6) バルブ1を徐々に断続的に全閉する(各開度で流量が発生しないことを確認する)
- (7) データ収録を終了する

3) 径 1.0mm 針金噛み時における逆圧下での実験 (実験 3)

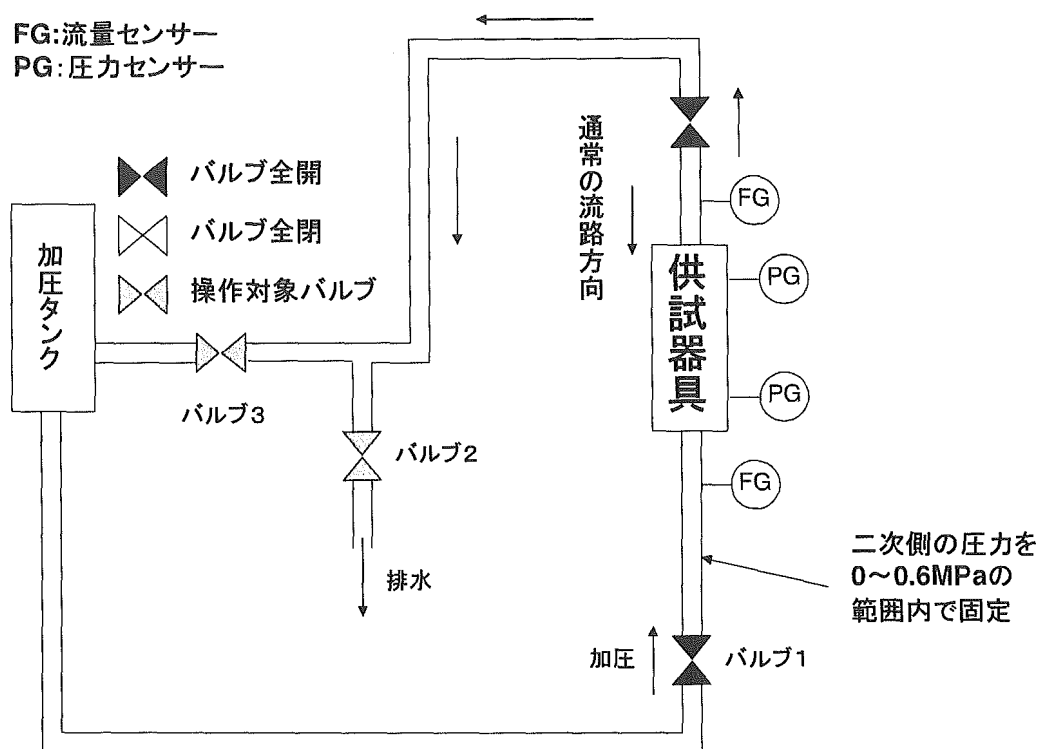


図 1 0 径 1.0mm 針金噛み時における逆圧下での実験装置

<手 順>

- 各製品の径 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 2 全閉、バルブ 3 全開の上、図 1 0 に示す状態とする
 - (2) 加圧タンクを用いて二次側圧力を設定する (0.1~0.6MPa の範囲内で適宜固定)
 - (3) バルブ 2 全閉、バルブ 3 全開のまま各部エア抜きを行い、管内を充水する
 - (4) バルブ 3 全閉後、圧力及び流量データ収録を開始する
 - (5) 逆流量が急減少するまでバルブ 2 を徐々に断続的に開操作する (各開度で流量が安定することを確認する)
 - (6) バルブ 2 を徐々に断続的に全閉する (各開度で流量が安定することを確認する)
 - (7) データ収録を終了する
 - (8) 二次側圧力の設定を変更し、(1) ~ (7) の操作を繰り返す

4) 負圧下での実験 (実験 4)

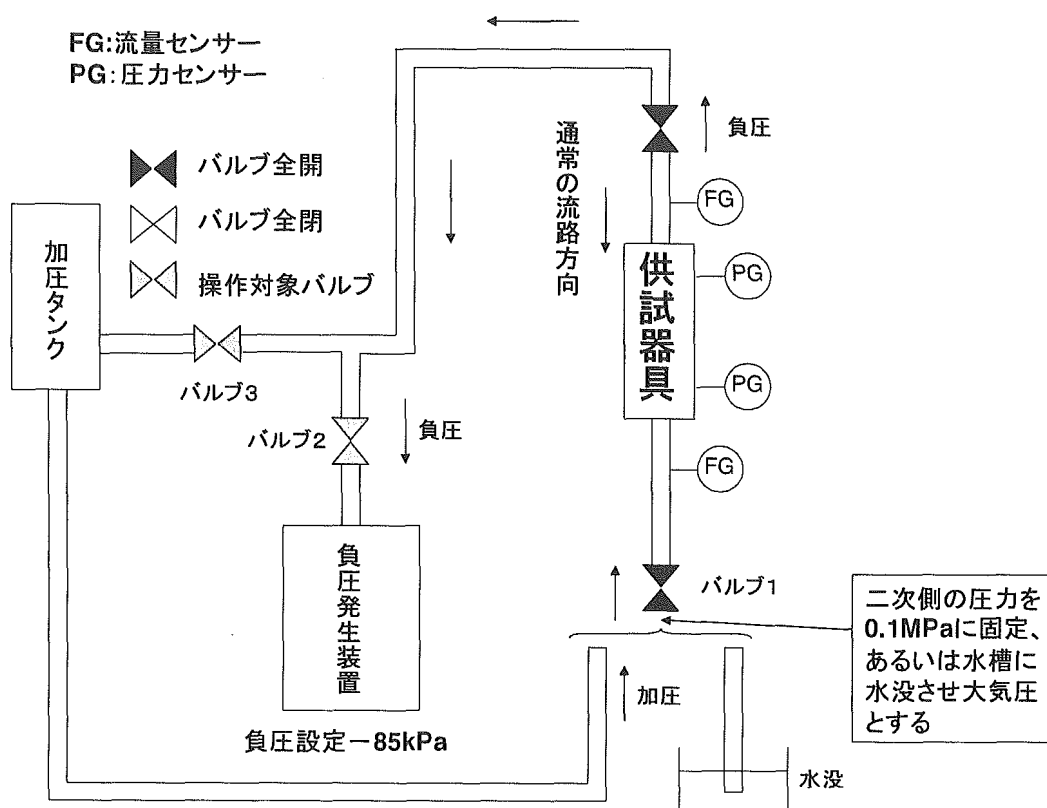


図 1 1 負圧下での実験装置

<手 順>

製品 A、B 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 2 全閉、バルブ 3 全開の上、図 11 に示す状態とする
- (2) 二次側配管の先端を水槽内に水没させる
- (3) バルブ 2 全閉、バルブ 3 全開のまま各部エア抜きを行い、管内を充水する
- (4) 負圧発生装置を起動させ、 -85kPa を保持する
- (5) バルブ 3 全開後、圧力及び流量データ収録を開始する
- (6) 正常時は全開、針金噛み時は逆流量が急減少するまでバルブ 2 を徐々に断続的に開操作する (各開度で、正常時では流量が発生しないこと、針金噛み時では流量が安定することをそれぞれ確認する)
- (7) バルブ 2 を徐々に断続的に全閉する (各開度で、正常時では流量が発生しないこと、針金噛み時では流量が安定することをそれぞれ確認する)
- (8) データ収録を終了する
- (9) 加圧タンクを用いて二次側圧力を 0.1MPa に設定し、(1) ~ (8) の操作を繰り返す

2. 6. 2 逆圧下での径の異なる針金噛み時の比較実験（実験5）

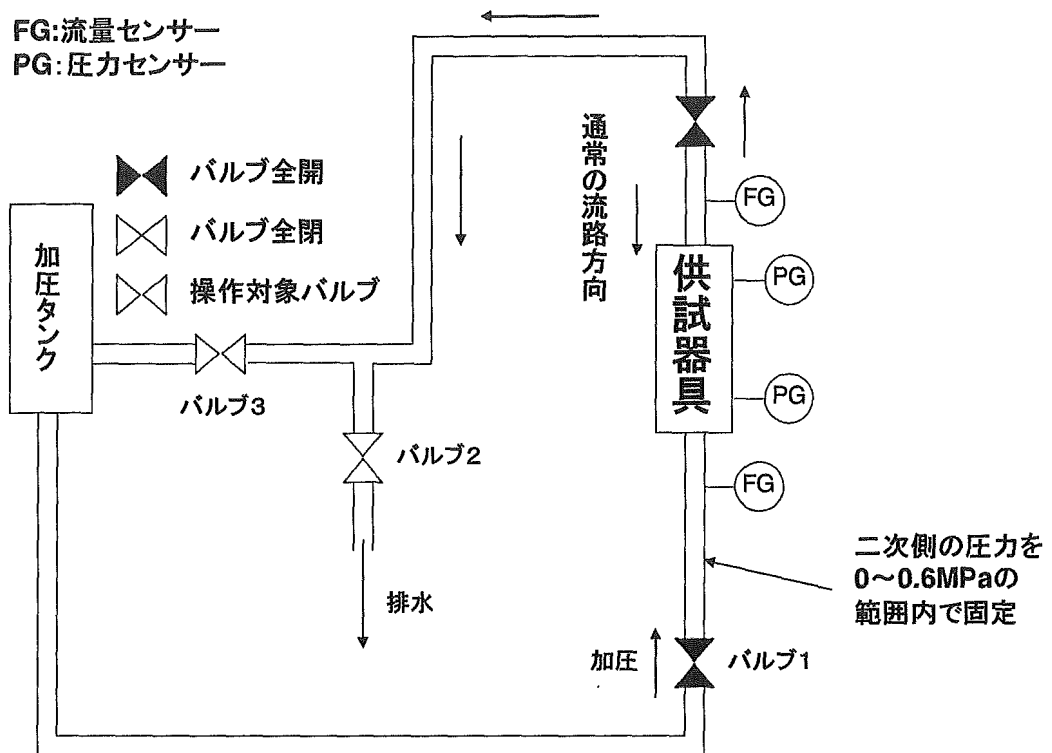


図 1 2 逆圧下での径の異なる針金噛み時の比較実験装置

<手 順>

各製品において径 0.2~2.0mm 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2全閉、バルブ3全開の上、図12に示す状態とする
- (2) 加圧タンクを用いて二次側圧力を設定する（0.1~0.6MPaの範囲内で適宜固定）
- (3) バルブ2全閉、バルブ3全開のまま各部エア抜きを行い、管内を充水する
- (4) バルブ3全閉後、圧力及び流量データ収録を開始する
- (5) 逆流量が急減少するまでバルブ2を徐々に断続的に開操作する（各開度で流量が安定することを確認する）
- (6) バルブ2を徐々に断続的に全閉する（各開度で流量が安定することを確認する）
- (7) データ収録を終了する
- (8) 二次側圧力の設定を変更し、(1)~(7)の操作を繰り返す

3 実験結果

本研究では、供試器具となる各製品についてバネ定数を決定した上で、製品前後に取り付けられた圧力センサー及び流量センサーからの出力データを連続的に収録することにより実験を行っている。このため、器具前後のセンサー位置をそれぞれ一次側及び二次側と呼ぶこととし、実験結果は時系列に各データをプロットすることでグラフ化した。なお、ベルヌーイの定理では既に「圧力損失を伴う管路前後での流体の圧力差は流量の2乗に比例する」ことが明らかとなっている。本研究で用いた供試器具でもその前後の圧力状況に応じて圧力損失を生じることが確認できたことから、(一次側圧力-二次側圧力)を弁差圧と位置付け、これもデータの1つに加えることとした。また、製品Aにさらに改良を加えて、弁体の変位量を検知可能とするセンサー付の試作品を開発した。

3.1 バネ定数の決定

各製品のバネ圧の違いを定量的に把握するため、バネ定数の測定結果を表3に示す。

表3 各製品におけるバネ定数

製品名	製品への荷重値 (g)	バネの伸び (cm)	バネ定数 (g/cm)
製品A	250	3.3	76
製品B	1000	0.6	1667
製品C	800	1.5	533

製品Aと製品B、Cではその構造及び材質が異なるため、一概に比較することは困難であるが、最もバネ定数の小さい製品Aと最も大きい製品Bではその値が約20倍も異なっていた。同構造を有する製品Bと製品Cではその比率が3倍程度となっていた。

3.2 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)

当実験結果の一例として、図13に製品C (正常時) の正圧 (0.8MPa) 下での実験結果、図14に製品C (径1.0mm針金噛み時) の正圧 (0.8MPa) 下での実験結果を示す。

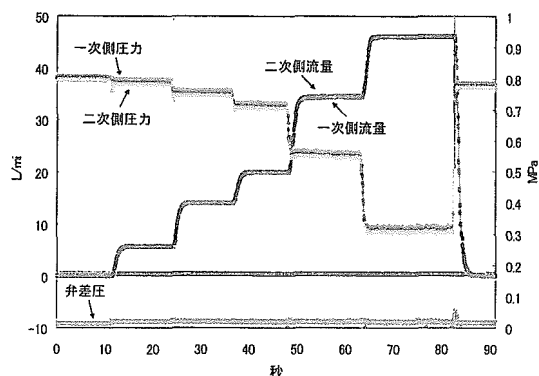


図13 製品C(正常時)の正圧(0.8MPa)下での実験結果

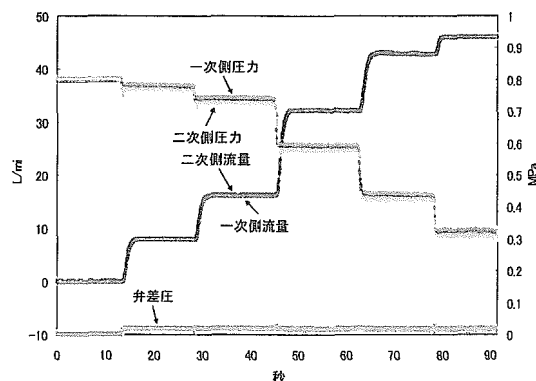


図14 製品C(径1.0mm針金噛み時)の正圧(0.8MPa)下での実験結果

正常時では実験当初の停水時に既に弁差圧 0.015MPa 程度が生じており、通水開始と同時に圧力は一次側、二次側ともに低下し、弁差圧は 0.020MPa 程度まで上昇した。その後は通水量の増加に伴い、圧力は一次側、二次側ともさらに低下するものの弁差圧はほぼ一定であった。再び停水すると一次側、二次側圧力、弁差圧とも通水前の状態に回復した。

これに対し、径 1.0mm 針金噛み時では実験当初の停水時に弁差圧は発生せず 0MPa であったが、通水開始後の状況は正常時と同様であった。再び停水すると通水前の状態に回復し、弁差圧も 0MPa となった。

なお、流量については一連の実験操作を通じ、一次側、二次側とも同様に推移し、両者の間に差はなかった。

正常時における停水中の弁差圧、通水中の弁差圧は製品ごとにその値が異なっているものの、以上の傾向はその他の製品あるいは正圧条件でも同様であった。

2) 逆圧下での実験 (実験 2、3)

当実験結果の一例として、図 15 に製品 C (正常時) の逆圧 (0.6MPa) 下での実験結果、図 16 に製品 B (径 1.0mm 針金噛み時) の逆圧 (0.15MPa) 下での実験結果を示す。

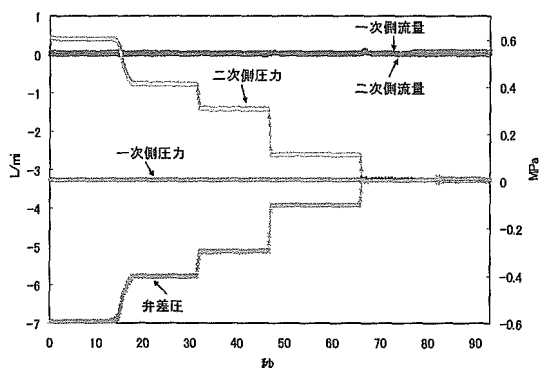


図15 製品C(正常時)の逆圧(0.6MPa)下での実験結果

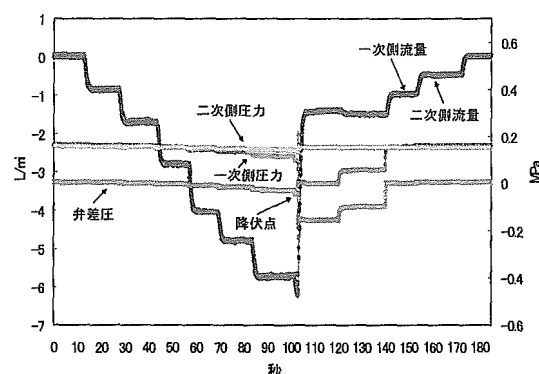


図16 製品B(径1.0mm針金噛み時)の逆圧(0.15MPa)下での実験結果

正常時では実験当初に既に一次側配管を大気開放の上、逆圧 0.6MPa を加えていることから負の弁差圧 -0.6MPa 程度が生じていたが、弁体が正常に機能をしているため、逆流は発生しなかった。

(正常時で逆圧を加えた際に、一次側流量と二次側流量が僅かに乖離する場合もあったが、その乖離幅は流量センサーの誤差範囲内であった。)その後、二次側圧力を徐々に低下させたが、一次側圧力は当初の 0MPa を保持したままなので、これに伴い弁差圧も 0MPa に近付いていったが、その過程においても逆流は発生しなかった。

これに対し、径 1.0mm 針金噛み時では、実験当初は製品前後が同圧であるため弁差圧は発生せず 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、針金噛みによる弁体と弁座との間に隙間が存在することから逆流も発生した。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 -0.05MPa、流量 -6.0L/min 程度まで達すると、瞬時に弁差圧 -0.15MPa、流量 -1.5L/min 程度まで急変動する現象 (降伏) が発生した。降伏後は、一次側の減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、逆流量も一時的な微小な増加はあるものの、次第に減少しながら停水した。

なお、流量については一連の実験操作を通じ、一次側、二次側とも同様に推移し、両者の間に差はなかった。

降伏発生時における弁差圧及び流量は製品ごとにその値が異なっているものの、以上の傾向はその他の製品あるいは逆圧条件でも同様であった。

3) 負圧下での実験(実験4)

当実験結果の一例として、図17に製品A(正常時)の二次側を0.1MPaとした時の負圧下での実験結果、図18に製品B(径1.0mm針金噛み時)の二次側を0.1MPaとした時の負圧下での実験結果を示す。

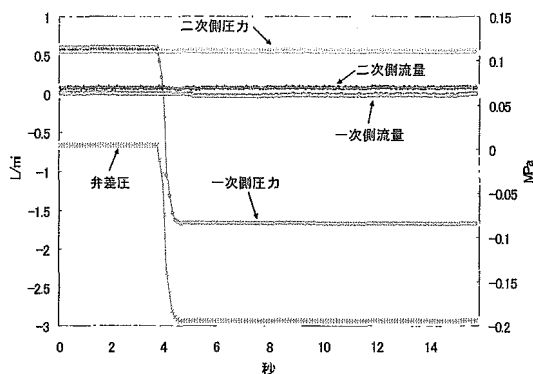


図17 製品A(正常時)の負圧(二次側0.1MPa)下での実験結果

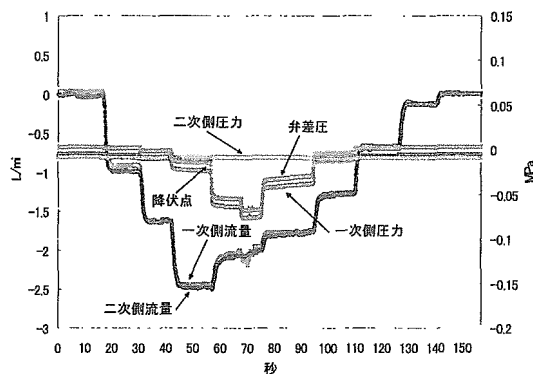


図18 製品B(径1.0mm針金噛み時)の負圧(二次側0.1MPa)下での実験結果

正常時では実験当初は製品前後が同圧であるため弁差圧は発生しておらず、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、弁体が正常に機能をしているため、逆流は発生しなかった。(正常時で負圧を加えた際に、一次側流量と二次側流量が僅かに乖離する場合もあったが、その乖離幅は流量センサーの誤差範囲内であった。)

これに対し、径1.0mm針金噛み時では、実験当初は製品前後が同圧であるため弁差圧は発生せず0MPaであったが、一次側を負圧状態とすると直ちに負の弁差圧が発生し、針金噛みによる弁体と弁座との間に隙間が存在することから逆流も発生した。さらに負圧を加え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 -0.015MPa 、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降伏現象が発生した。降伏後は、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。

なお、流量については一連の実験操作を通じ、一次側、二次側とも同様に推移し、両者の間に差はなかった。

降伏発生時における弁差圧及び流量は製品ごとにその値が異なっているものの、以上の傾向はその他の製品あるいは負圧条件でも同様であった。ただし、製品Aの二次側を大気圧とした実験では、降伏現象を確認できなかった。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から、降伏しなかったものと考えら

れる。

3. 3 逆圧下での径の異なる針金噛み時の比較実験（実験5）

当実験結果の一例として、図19に製品C（径1.2mm針金噛み時）の二次側を0.6MPaとした時の逆圧下での実験結果、図20に製品C（径2.0mm針金噛み時）の二次側を0.6MPaとした時の逆圧下での実験結果を示す。

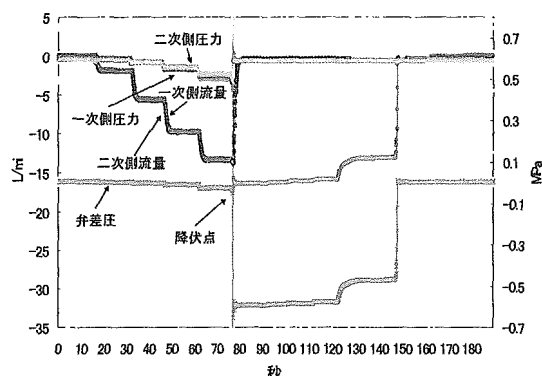


図19 製品C(径1.2mm針金噛み時)の逆圧(0.6MPa)下での実験結果

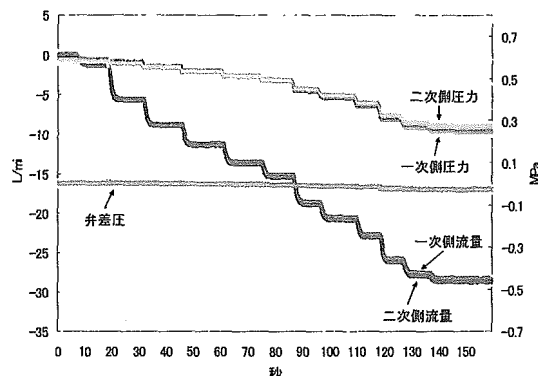


図20 製品C(径1.6mm針金噛み時)の逆圧(0.6MPa)下での実験結果

径1.2mm針金噛み時では、実験当初は製品前後が同圧であるため弁差圧は発生せず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、針金噛みによる弁体と弁座との間に隙間が存在することから逆流も発生した。さらに一次側圧力を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 -0.05MPa 、流量 -14.0L/min 程度まで達すると、瞬時に弁差圧 -0.6MPa 、流量 -0.5L/min 程度まで急変動する降伏現象が発生した。降伏後は、一次側の減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、逆流量も一時的な微小な増加はあるものの、次第に減少しながら停水した。

これに対し、径1.6mm針金噛み時では、一次側の減圧操作により直ちに負の弁差圧が発生し、逆流を発生するまでは径1.2mm針金噛み時と同様の状況であったが、さらに一次側圧力を低下させても逆流量が増大するのみで降伏現象を発生するまでには至らなかった。

これは径の太い針金が弁体と弁座との間の隙間を広めた結果、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から、降伏が発生しなかったものと考えられる。

以上の傾向はその他の製品あるいは逆圧条件でも同様に発生し、各製品とも針金径が大きくなるほど降伏発生時の弁差圧、流量とも負方向に増大する傾向であった。

ただし、同径の針金噛みであっても降伏発生時の弁差圧及び流量は製品ごとにその値が異なり、降伏現象を発生させられなくなる針金径の限界値も製品ごとに異なっていた。

3. 4 弁体変位量の検知方式及び試作品の開発

本研究では、今後さらに効果的な異常監視を実現するため、今回得られたような圧力、流量データによる解析のほか、弁体の変位量データも解析に加えることを予定している。

今回は弁体の変位量を検知可能とするセンサー付の試作品を開発することとしており、これを実現するためには、その検知方式を決定しなければならない。

弁体変位量の検知方式は次の2点を留意することにより決定することとした。

- ・常時充水されており、且つ、激しい水圧変動を伴う器具内部の密閉空間において検知可能なものであること。
- ・弁体の変位量は極めて微小となることが予想されるため、その微小変位が検知可能であること。

以上の2点を考慮し、次の2方式を考案したので、両方式の原理及び想定される長短所を次に示す。

(1) ダイヤルゲージによる検知方式

弁体と連動する弁軸部を延長し、その先端を器具の外部に露出させることにより、その変位量を直接ダイヤルゲージで検知する方式

(長所) 弁軸延長部が外部に露出しているため、ダイヤルゲージによる検知のほか、目視による変位量の確認も可能となること。

(短所) 器具外部への露出部において水密性の確保が困難となること。

弁体変位に要する摩擦力が増大し、器具としての圧力損失も増大すること。

(2) 渦電流式変位センサーによる検知方式

コイルを流れる高周波電流による磁束が、離れた金属物に対して、その離間距離に応じた渦電流を発生させる原理を応用した渦電流式変位センサーを用いて弁体の変位量を検知する方式

(長所) ダイヤルゲージに比べて計測精度が高いセンサーが既に市販されていること。

器具内部が密閉されたままの状態での計測可能であること。

(短所) センサーの測定範囲が狭いため、その取付位置に制約があること。

渦電流を発生させるため、計測対象を金属製とする必要があること。

以上の2方式についてさらに検討を加えた結果、(1)ダイヤルゲージによる検知方式における短所は、この方式に示すとおり構造上改良することが困難であった。一方、(2)渦電流式変位センサーによる検知方式における短所は、器具の弁軸部を若干延長し、その先端に金属片を取り付ける等の改良を加えることにより克服することが可能であった。その結果、試作品の開発に当たっては、渦電流式変位センサーによる検知方式を採用することとし、通常の商品に近い状態が望ましいことから製品Aに改良を加えることとした。

4 考察

実験結果に示すとおり、流量と弁差圧には相関があったため、本研究では弁差圧と流量の関係について解析を行い、考察することとした。

4.1 正圧、逆圧、負圧下での正常時と針金噛み時の比較

1) 正圧下での実験

正圧下での実験に基づく製品Aの弁差圧-流量特性を図21、同実験に基づく製品B、Cの同特性を図22、図23にそれぞれ示す。

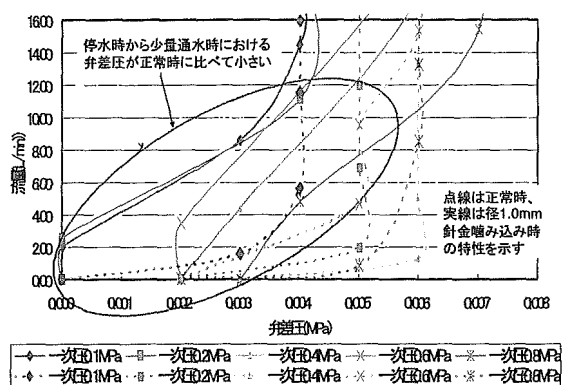


図21 製品Aの正圧下における弁差圧-流量特性

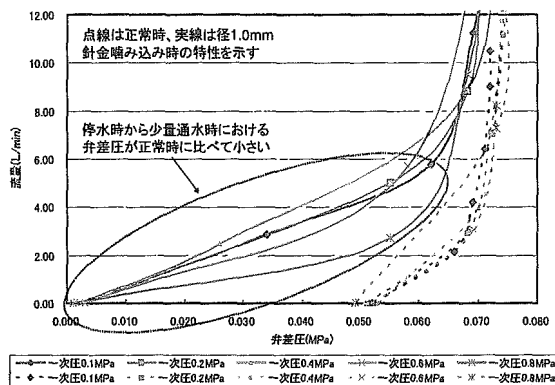


図22 製品Bの正圧下における弁差圧-流量特性

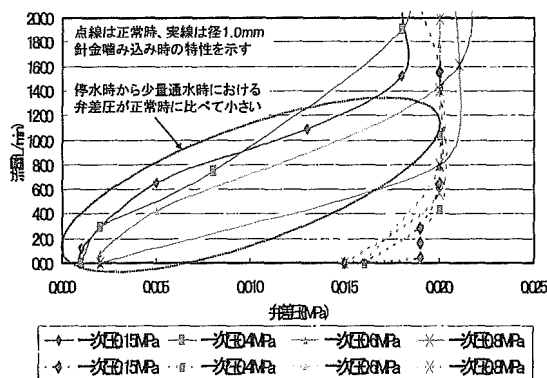


図23 製品Cの正圧下における弁差圧-流量特性

製品B、Cでは正圧を加えた場合、正常時には通水開始にそれぞれ0.050MPa程度、0.015MPa程度の弁差圧(最低作動弁差圧)が必要であるが、径1.0mm針金噛み時にはこれより低い弁差圧で通水を開始しており、正圧の大きさに関わらず弁差圧-流量特性はほぼ一定であった。製品B、Cは同構造を有しており、両者の違いはバネ圧のみで、その違いはバネ定数で約3:1となっているが、最低作動弁差圧も約3:1とほぼ一致していた。

一方、製品Aについては、最低作動弁差圧を明確に確認することができなかったが、正圧の違いによらず弁差圧-流量特性がほぼ一定であること、針金噛み時には正常時に比べて低い弁差圧で通水開始する傾向であった。これは本研究で用いた圧力センサーの精度が不十分であったため、正確な値を計測できなかったからと考えられる。

以上より、正圧下での実験として次のことが明らかとなった。

(1) 製品ごとに同一の状態を保持している限り、正圧の大きさに関わらず弁差圧-流量特性はほぼ一定となること。

(2) 正常時に正圧を加え通水開始させるには、製品ごとにほぼ固有の最低作動弁差圧が

必要となるが、針金噛み時ではこれ以下であっても通水開始すること。

(3) 同構造を有する製品では、最低作動弁差圧はバネ定数に比例していること。

2) 逆圧下での実験

逆圧下での実験に基づく製品Aの弁差圧—流量特性を図24、同実験に基づく製品B、Cの同特性を図25、図26にそれぞれ示す。

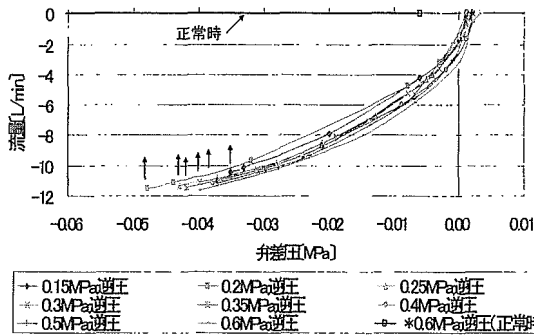


図-24 製品A(径1.0mm針金噛み時)の逆圧下における弁差圧—流量特性

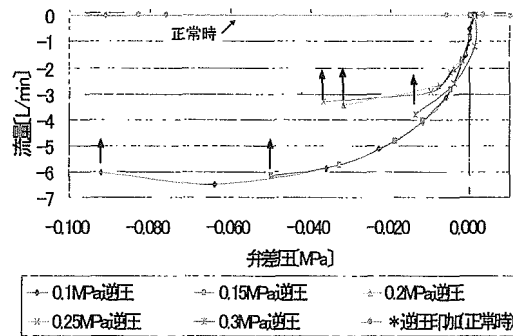


図-25 製品B(径1.0mm針金噛み時)の逆圧下における弁差圧—流量特性

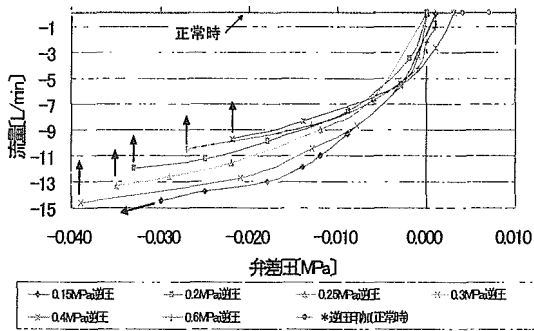


図-26 製品C(径1.0mm針金噛み時)の逆圧下における弁差圧—流量特性

各製品とも逆圧を加えて負の弁差圧が発生しても、正常時では逆流は発生しなかったが、径1.0mm針金噛み時では直ちに逆流が発生した。しかし、十分な負の弁差圧が発生し得る状態で、さらに弁差圧を負方向に増大させると、当初はそれに応じて逆流量が増大するものの、或る一定の弁差圧を超えると瞬時に逆流量が急減少する点(降伏点)が存在し、降伏点以上の逆流量は発生しなかった。製品

B、Cでは降伏点位置の偏差が大きいものの(製品Bでは特に顕著)、降伏点における弁差圧は各製品とも -0.05MPa 程度とほぼ一致していたが、その時発生した最大逆流量は製品Aで -11L/min 、製品Bで -6L/min 、製品Cで -15L/min 程度と異なっていた。(製品Bについては、後述する理由により逆圧 0.15MPa 時のデータを採用した)なお、各製品とも逆圧の大きさに関わらず弁差圧—流量特性はほぼ一定であった。

降伏現象は負方向への弁差圧の増加に伴う針金の弁体等への急激な陥入及びこれに対応するパッキン等の急激な変形が併発することにより発生すると考えられる。

製品B、Cでの降伏点での最大逆流量の違いは、両者が同構造を有しながらもバネ圧のみが異なることから、同径の針金噛み時ではバネ定数の大きい製品Bの方が弁体と弁座の間の隙間がより狭まるため、その結果として同程度の弁差圧で発生した逆流量も小さくなったと推測できる。一方、製品Aでは、製品B、Cと構造及び材質も異なることからその

比較は困難であるが、カートリッジを取り出し降伏現象を再現してみたところ、降伏した際に針金が弁体へ陥入するとともに製品B、Cにはみられなかったカートリッジの変形を伴っていることが観察できた。このことから、製品Aでは本来降伏すべき弁差圧に到達する前に先んじてカートリッジの変形が発生してしまうため、降伏が早まったものと推測できる。

製品ごとに降伏点位置の偏差が異なる理由を図27に基づき考察する。本研究では逆圧

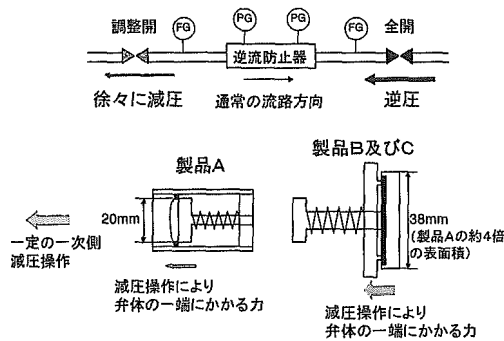


図-27 逆圧下における製品ごとの弁体への負荷状況

下での実験を、製品前後を同圧とした状態で二次側に一定の逆圧を加えたまま徐々に手動で一次側を減圧している。一方、各製品構造から逆圧を加える場合の影響を比較すると、製品B、Cの弁体は製品Aに対し約4倍の受圧表面積を有している。従って、製品の一次側で一定の減圧操作をした際には、製品B、Cでは針金噛みした一端に製品Aの約4倍の荷重が加わることとなり、結果的に弁差圧を負方向へ増大させる効果も大きくなる。このため、製品B、Cでは微小な弁差圧操作が困難となり、同程度の降伏を再現できなかったものと考えられる。現に製品B、Cでは、高逆圧下であるほど降伏が早まる傾向にある。さらに製品Bではバネ定数が大きく、弁体と弁座の間の隙間がより狭まるため、この傾向が相乗的に強まったものと考えられる。以

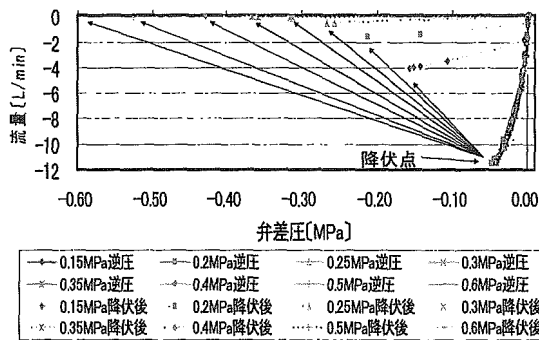


図-28 製品A(径1.0mm針金噛み時)の逆圧下における降伏後の弁差圧-流量特性

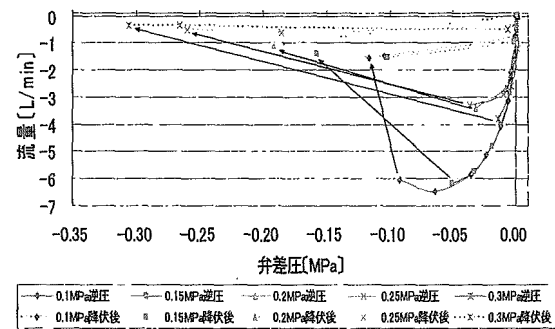


図-29 製品B(径1.0mm針金噛み時)の逆圧下における降伏後の弁差圧-流量特性

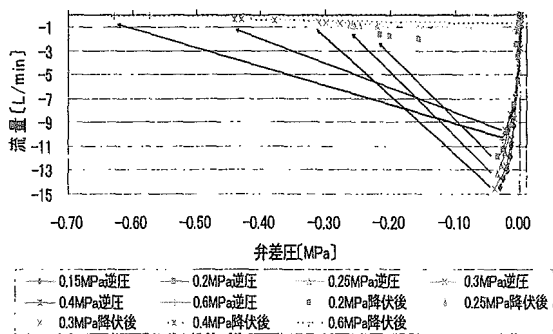


図-30 製品C(径1.0mm針金噛み時)の逆圧下における降伏後の弁差圧-流量特性

上のことから、製品ごとに得られた複数の降伏点の内、負方向への弁差圧、流量がともに最大となった点を固有の降伏点として採用することとした。

次に、逆圧下での実験に基づく製品Aの降伏後の動向を含む弁差圧-流量特性を図28、同実験に基づく製品B、Cの同特性を図29、図30にそれぞれ示す。

各製品とも降伏発生直後は、実験開始時に加えていた逆圧にほぼ相当する弁差圧まで瞬時に変化することで逆流量も急減少するため、弁差圧-流量特性は降伏点を挟み不連続となった。その後は弁差圧を0に近づけるとともに一時的な逆流量の増加がみられる場合もあるものの、逆流量はほぼ減少していく傾向にあり、停水に至っていた。この過程における製品内部での一連の逆流発生イメージを図31に示す。

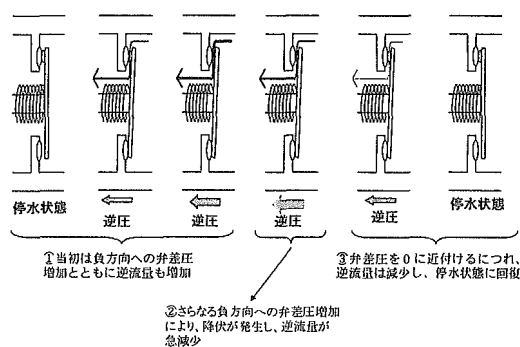


図-31 針金噛み時における逆圧時の逆流発生イメージ

①停水状態から徐々に逆圧を加えると、当初は負方向への弁差圧の増加に伴い、針金による隙間からの逆流量も増加する。

②さらに負方向への弁差圧を増加させ、一定の値を超えると、針金の弁体等への急激な陥入及びパッキン等の急激な変形が併発することにより、降伏が発生し、逆流量が急減少する。

③降伏後、弁差圧を 0MPa に近づけるに従い、一時的に逆流量が増加する場合もあるものの、逆流量は減少しながら停水状態に回復する。

以上より、逆圧下での実験として次のことが明らかとなった。

(1) 針金を噛み込ませた状態で製品に逆圧を加え、弁差圧を負方向に増大させると、当初はそれに応じて逆流量が増大するものの、或る一定の弁差圧を超えると瞬時に逆流量が急減少する点（降伏点）が存在し、降伏点以上の逆流量は発生しないこと。

(2) 製品ごとに同一の状態を保持している限り、一定の降伏点が存在し、逆圧の大きさに関わらず弁差圧-流量特性もほぼ一定となること。

3) 負圧下での実験

負圧下での実験に基づく製品Aの弁差圧-流量特性を図32、同実験に基づく製品Bの同特性を図33にそれぞれ示す。本研究では二次側を大気圧あるいは0.1MPaの加圧状態として実験を行っている。

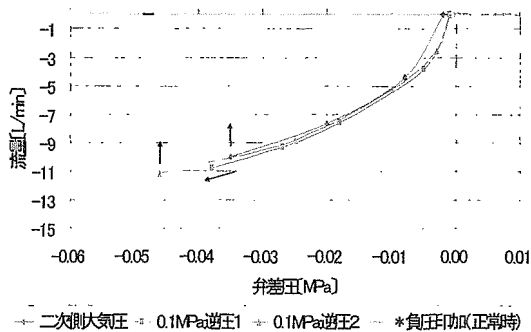


図-32 製品A(径1.0mm針金噛み時)の負圧下における弁差圧-流量特性

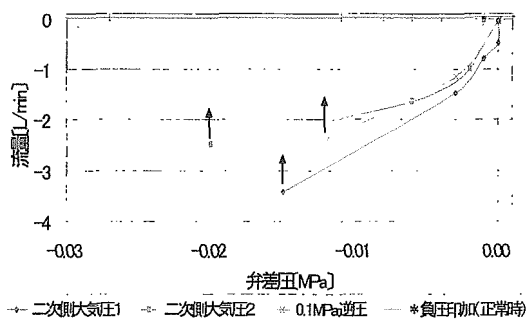


図-33 製品B(径1.0mm針金噛み時)の負圧下における弁差圧-流量特性

両製品とも逆圧を加えた時と同様、負圧を加えると、正常時では逆流は発生せず、径 1.0mm 針金噛み時では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降伏が発生し、降伏点以上の逆流量は発生しなかった。両製品における降伏点は、製品Aでは弁差圧 -0.05MPa 、最大逆流量 -11L/min 程度と逆圧を加えた時とほぼ一致していたが、製品Bでは位置の偏差も大きく、その値も弁差圧 -0.015MPa 、最大逆流量 -3L/min 程度であり、逆圧下で得られた程度の降伏点を再現できなかつた。これは2) で述べたように製品Bではもともと微小な弁差圧操作が困難である上に、本実験では一次側を負圧状態とすることで、単に逆圧を加えた場合よりさらに、微小な操作を困難とする状況にさせてしまったためと考えられる。

次に、負圧下での実験に基づく製品Aの降伏後の動向を含む弁差圧-流量特性を図34、同実験に基づく製品Bの同特性を図35にそれぞれ示す。

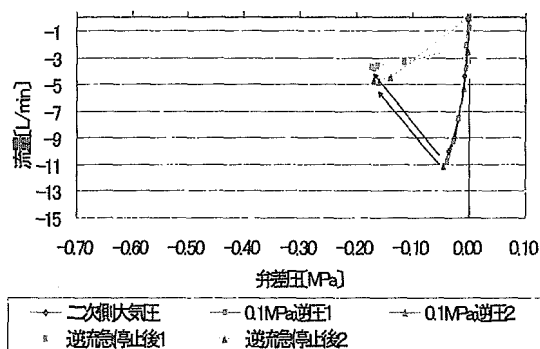


図-34 製品A(径1.0mm針金噛み時)の負圧下における降伏後の弁差圧-流量特性

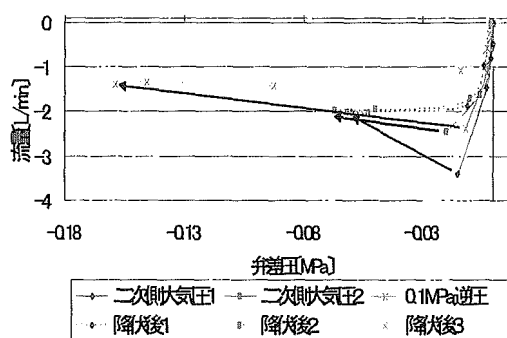


図-35 製品B(径1.0mm針金噛み時)の負圧下における降伏後の弁差圧-流量特性

両製品における降伏発生後の状況も逆圧を加えた時と同様であった。

以上より、負圧下での実験として次のことが明らかとなった。

- (1) 針金を噛み込ませた状態においては、逆圧を加えた時と同様の状況が再現されることとなり、逆流発生を経て降伏し、降伏点以上の逆流量は発生しないこと。
- (2) 製品ごとに同一の状態を保持している限り、逆圧を加えた時と同様の降伏点が存在し、負圧の大きさに関わらず弁差圧-流量特性もほぼ一定となること。

4) 逆圧、負圧下での実験の比較

製品A、Bについて、逆圧、負圧下での弁差圧-流量特性を比較したところ、両者で同等の結果を得られたことから、製品Cについては負圧下での実験を省略することとしている。ここではそれを再確認するため、製品Aの逆圧、負圧下での実験データを重ね併せた弁差圧-流量特性イメージを図36、製品B、Cの同イメージを図37、図38にそれぞれ示す。(製品Cについては逆圧下でのデータのみ) 図36~38において、太い実線は逆流開始から降伏点までの軌跡イメージを示し、太い点線は降伏点及び降伏直後に不連続に発生したポイントを結んでいる。

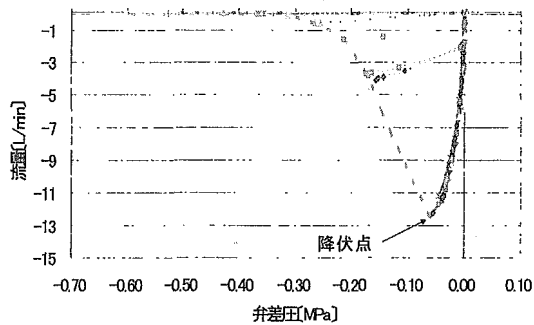


図-36 製品A(径1.0mm針金噛み時)の逆圧、負圧下における弁差圧-流量特性イメージ

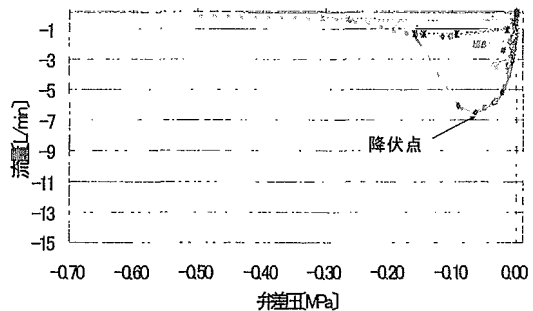


図-37 製品B(径1.0mm針金噛み時)の逆圧、負圧下における弁差圧-流量特性イメージ

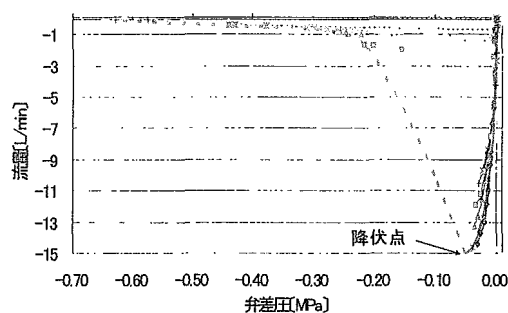


図-38 製品C(径1.0mm針金噛み時)の逆圧下における弁差圧-流量特性イメージ

製品Aについて逆圧、負圧下における特性を重ね合わるとほぼ同等であった。一方、製品Bについては、実験の操作性の問題から負圧下での特性は低逆圧下での特性と乖離があるものの、高逆圧下での特性とはほぼ同等であった。

このことから、負方向への弁差圧を増大させるためには、逆圧、負圧のどちらを採用しても同等の結果が得られることが明らかとな

ったため、以後は逆圧下での実験を中心に行っていくこととした。

4. 2 逆圧下での径の異なる針金噛み時の比較

逆圧下での径の異なる針金噛み時の実験に基づく製品Aの弁差圧-流量特性を図39、同実験に基づく製品B、Cの同特性を図40、図41にそれぞれ示す。

製品Aでは、径0.2mmで逆流発生を確認できず、径0.35~1.0mmの範囲で降伏が発生し（径が大きくなるほど降伏点における負方向への弁差圧及び逆流量がともに増加）、径1.2mm以上では降伏は発生しなかった。製品Bでは、径0.55mmで逆流発生を確認できず、径0.7mmで逆流発生が確認でき、0.8~1.6mmの範囲で降伏が発生し（径が大きくなるほど降伏点における負方向への弁差圧及び逆流量がともに増加）、2.0mm以上では降伏は発生しなかった。製品Cでは、径0.2~1.2mmの範囲で降伏が発生し（径0.7mmと径0.8mmでは逆転しているものの、径が大きくなるほど降伏点における負方向への弁差圧及び逆流量がともに増加）、径1.6mm以上では降伏は発生しなかった。これは噛み込ませた針金径に応じて、弁体と弁座の間隙が変化するために起こる傾向であると考えられる。

なお、各製品とも針金の径が小さいほど、同等の弁差圧で発生する逆流量はほぼ小さくなる傾向であった。

以上のことから、逆圧下で製品に針金を噛み込ませた場合には、噛み込ませた針金径が小さいほど、同等の弁差圧で発生する逆流量、降伏点における弁差圧及び逆流量とも小さ

くなる傾向であることが明らかとなった。

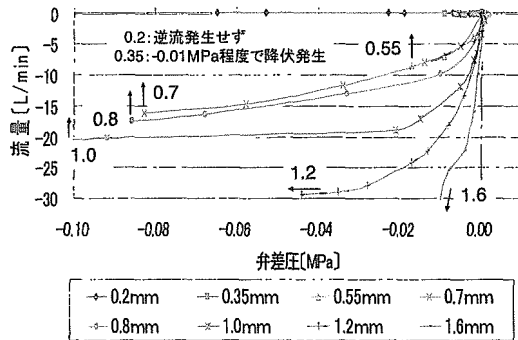


図-39 製品A(針金噛み時)の逆圧下における針金径別弁差圧-流量特性

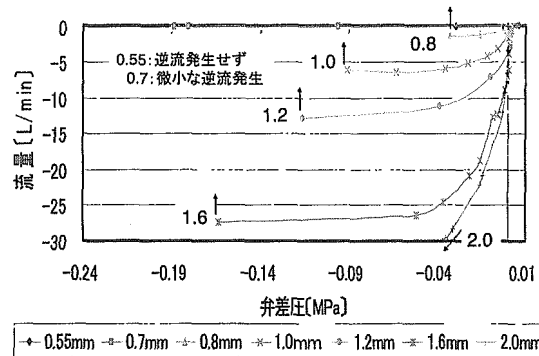


図-40 製品B(針金噛み時)の逆圧下における針金径別弁差圧-流量特性

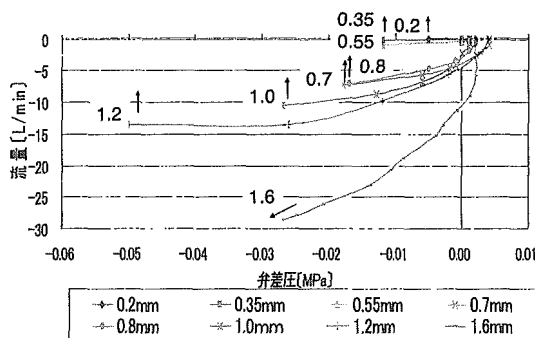


図-41 製品C(針金噛み時)の逆圧下における針金径別弁差圧-流量特性

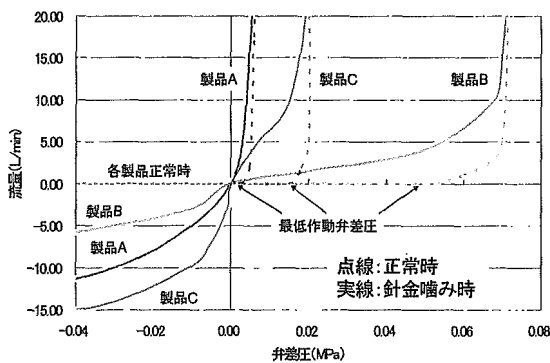


図-42 各製品における正常時と径1.0mm針金噛み時との弁差圧-流量特性イメージ比較

に通水を開始すること。(正圧下での実験は行っていないが、針金径が異なってもそれに応じた通水量が発生すると考えられる)

今回の実験で得られた弁差圧-流量特性により、単式バネ式逆止弁においては正常時と異常時とで以上のような相違点があることが明らかとなった。今後は、これらの相違点を利用して、通常設置下における単式バネ式逆止弁の異常検知に有効な判定方法を検討していく予定である。

4.3 単式バネ式逆止弁の異常検知方法に関する検討

前項までの考察により、製品ごとに同一の状態を保持している限り、製品前後の圧力条件によらず、降伏点から正圧までの範囲では弁差圧-流量特性が一定であることが明らかとなったため、各製品における正常時と径1.0mm 針金噛み時との弁差圧-流量特性イメージを図42に示す。

各製品に共通し、正常時と異常時で相違する傾向は次の2点であった。

(1) 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を発生すること。(針金径が異なってもそれに応じた逆流量が発生する)

(2) 正方向への弁差圧が発生した場合、正常時で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

4. 4 弁体変位量を検知可能とする試作品の特徴

本研究では、ここまで考察してきた弁差圧、流量による解析に加え、今後はさらに効果的な異常監視を実現するため、弁体の変位量も解析対象とする予定である。今回は3. 4 弁体変位量の検知方式及び試作品の開発で示した検討を踏まえ、弁体変位量を検知可能とする試作品が図4 3に示すとおり開発できたため、その主な特徴を次に報告する。

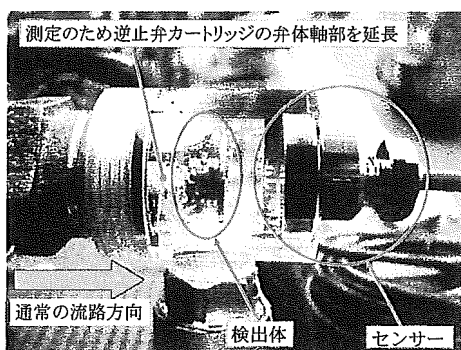


図-43 弁体の変位量を検知可能とする試作品

(1) 試作品は製品Aの二次側に変位センサーを取り付けた改造品である。

(2) 変位センサーは水中で使用可能であること、計測精度が高いこと等を考慮して、渦電流式変位センサーを採用している。

(3) 変位センサー取付部にアクリル樹脂製の部品を用いることで、弁体の変位状況が目視可能である。

今後は、この試作品を用いて弁変位量も加味した実験を行い、今回得られた解析データとの比較検討を行っていく予定である。

5 まとめ

現在、一部の都市ではφ75mmの増圧ポンプが使用開始されるなど直結給水方式はますます拡大している中で、循環式の風呂釜のような給水用具からの逆流事故も各地で数例起きており、逆流に対しては様々な対策を講じる必要に迫られている。特に、増圧直結給水方式では増圧ポンプの保守点検時、また受水槽を用いた給水方式でも受水槽やポンプの清掃・点検時に、立て管内で負圧が発生する可能性があり、直結している給水用具から水質的に変化した水を引き込む恐れもある。

そのため、クロスコネクションや逆圧あるいは負圧の発生を未然に防止することが肝要となってくるが、完全な予防法が確立されていないのが現状である。このような状況では、適切な逆流防止装置を適性に設置することがより重要となるが、やはり異物噛み等の異常による逆流の恐れを完全に払拭することは困難である。

従って、本研究では逆流防止装置の異常をいち早く検知することを目的に、逆流防止装置の内、最も一般的な単式バネ式逆止弁を基にセンサー付装置を試作し、これを用いて異物噛み状態を再現した上で様々な圧力状況が発生させることにより、正常時と異常時とを比較検討している。その結果、器具前後の圧力差である弁差圧と流量を検知すれば、器具の状況のある程度判別できる可能性があることを見出すことができた。これに加えて、より効果的な異常監視を実現するために、期待が持てる弁体の変位量を検知可能とする試作品も開発した。

今後は、これらの研究結果及び試作品を基に次のような検討を行っていく予定である。

- (1) 異常検知に関する具体的な判定方法の提示及び判定精度の向上に向けた検討
- (2) 圧力状況の変化に伴う異常状態の動的変化に関する解析
- (3) 弁体の変位量も加味した解析
- (4) 単式バネ式逆止弁を活用した二重式逆止弁及び減圧式逆流防止器への応用
- (5) 実用化に向けた製品への提案

以上のような検討により、精度の高い異常検知機能を持つ逆流防止装置が実現できれば、これを利用してより適切な点検や交換時期の設定も可能となり、逆流事故も未然に防ぐことができるようになると考えられる。これと同時に、より安全で安心して使用できる給水システムづくりのために、定期点検等を含めた適切な維持管理を推進することで、逆流防止対策を充実させていくことがますます重要となってくると考えられる。

Ⅱ-3 給水末端システムの管理方法に関する研究；

1. 給水末端での取得情報の活用方法

主任研究者 中村 文雄 (財) 給水工事技術振興財団
研究協力者 若松 亨二 (株) 日水コン

1. 研究の目的

本研究は、給水末端での水質や水圧・流量の異常、給水装置の異常等の対応を行うために、給水末端で取得可能なデータの整理と管理システムのあり方の検討、取得データに基づく異常判定や異常予測への活用方法の検討、給水末端システムの維持管理・リスク管理に関する体制整備等の検討を行う。

このうち、本年度の研究は、取得可能データの整理とそれらのデータに基づく異常判定や異常予測への活用方法の検討を行う。

2. 検討内容と検討手順

本年度の研究は、3か年全体の研究内容に位置づけると図1となる。図1は給水末端システムでの情報の流れの中に各年度の研究内容を位置づけたものである。

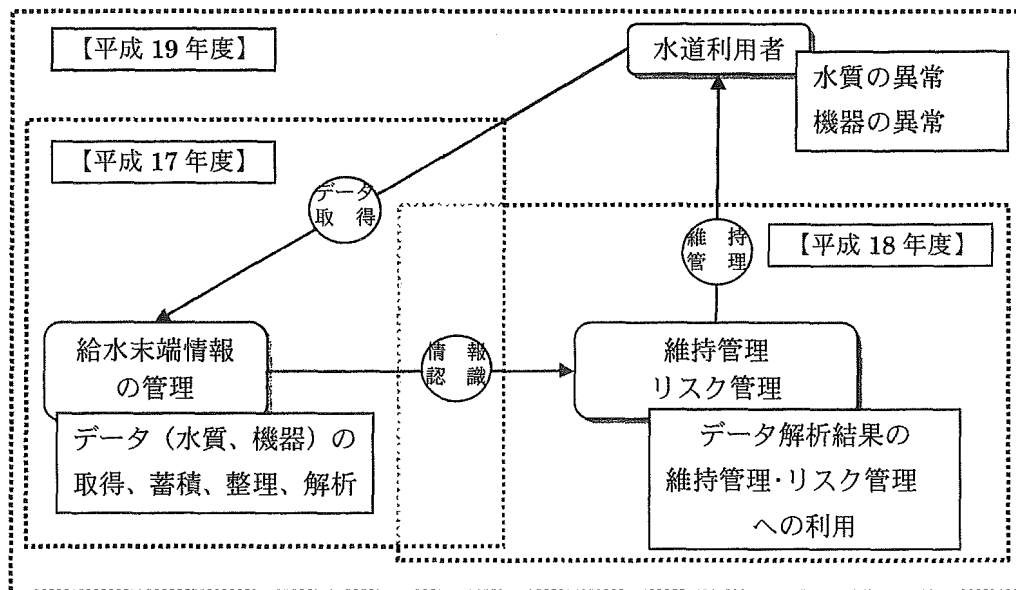


図1 研究の位置づけ

本年度は、水道利用者からデータを取得し、そのデータを給水末端システムの維持管理やリスク管理のための情報として認識するところまでを研究範囲とする。具体的には、以下のとおりであり、検討手順は図2とする。

- ① 各分担研究取得データについて、特性、処理方法、利用可能性等の共通の視点で再整理を行う。
- ② データ取得から異常判定までのプロセスについて検討を行う。
- ③ 関連・類似システムの事例等を参考に、給水末端管理システムでの情報活用イメージの想定を行う。

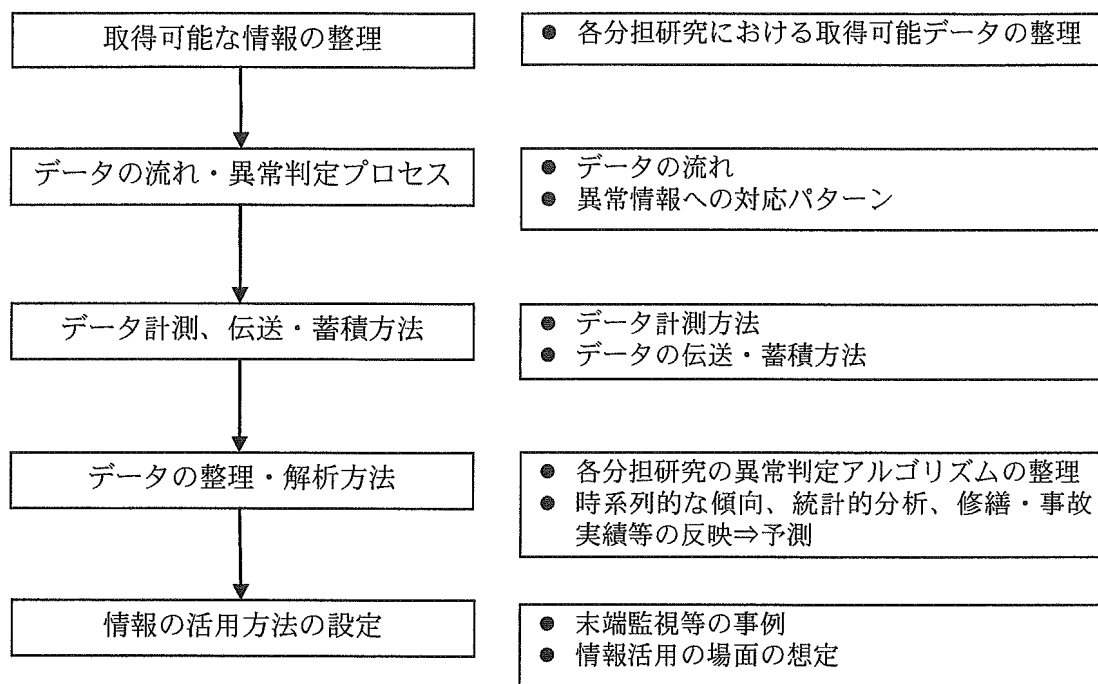


図2 研究の手順

平成18年度は、得られた情報を維持管理やリスク管理の場面での利用方法について研究を行う。具体的には、①維持管理・リスク管理の場面での情報の利用方法、②異常情報を認識した後の実際の対応（調査・修理等）、③センター機能の組織形態についての検討等である。平成19年度は、管理システムの実行可能性を検討するため、モデル都市によるケーススタディを行う。

3. 給水末端システムにおけるデータとその活用

本研究における「給水末端システム」と「給水末端システムの管理」は以下のとおりとする。

「給水末端システム」とは、設備としては水道法の「給水装置」と同義とし、これに供給される水道水（所定の水質・水圧）を含めたものとする。また、「給水末端システムの管理」とは、これらの設備および水道水を適正な状態に管理することとする。