

105 排水ポンプ用逆流防止弁の急閉鎖時に発生する衝撃と騒音

Impact Force and Noise Generation of Check Valves for Drain Pumps at Their Sudden Closure

杉山弘¹、溝端一秀¹、湊亮二郎¹、山下明彦²、武者裕之³、三輪俊夫³

¹室蘭工業大学機械システム工学科、²太陽鉄工、³荏原製作所

Abstract

Check valves to control reverse water flows in drainage systems often suffer from large impacts and loud noises through their sudden closure caused by an accidental cutoff of drain pumps. In order to find the alternative valve to reduce such large impact forces and noise, we investigated behaviors of the check valve and flow phenomena in drainage pipe and the impact force due to their sudden closure, using a 100 mm diameter model drainage system. Some modified check valves were also proposed and their characteristics are investigated.

Key words: Check Valve, Drainage, Pipe Flow, Impact Force, Loud Noise, Pump Station

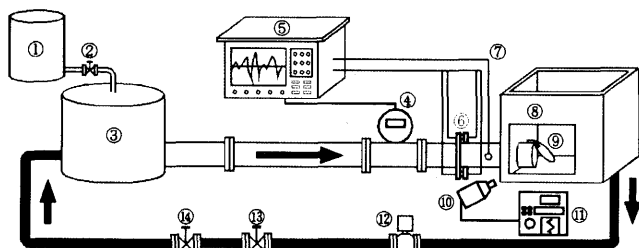
1. 緒言

本研究で取り扱う逆流防止弁は、河川の支流と本流との合流点に建設されている、排水機場の排水管吐出し口に設けられており、ポンプ休止時に排水管内の高水位側から低水位側への水が逆流することを防止している。通常ポンプを停止する際は、排水流れは緩やかに減速して、逆流防止弁も緩慢に閉鎖する。しかし停電などの不測の事態によってポンプが急停止した場合には、排水流れは急減速し、逆流防止弁も急閉鎖する。このとき騒音や、弁座、配管継ぎ手等の構造体に作用する衝撃力、それに伴う損傷といった問題がある。このような逆流防止弁急閉鎖時の衝撃の発生メカニズムや、同弁の挙動に関する研究は少なく、不明な点が多い⁽¹⁾。

そこで本研究では、逆流防止弁が急閉鎖する際の衝撃および騒音を緩和・抑制するための手段を見出し、より簡便で衝撃・騒音が小さい逆流防止弁の設計法を探ることを目的とし、弁急閉鎖時の弁の挙動や排水管に発生する衝撃力、また弁近傍における騒音を計測し、同現象のメカニズム解明を試みた。

2. 実験装置および実験方法

Fig.1 に、排水機場を模擬した実験装置の概略図を示す。上流側タンクと下流側タンクを、長さ 2375 mm、内径 100 mm の排水管でつなぎ、下流側タンクに設けられた排水管末端の吐出し口には逆流防止弁が取り付けられている。排水管内の水は、Fig.1 中の矢印に示される方向に流れ、実験装置内を循環している。なお、排水管内の流速は電磁流量計によって求めた。Fig.2 に、逆流防止弁が取り付けられ



- ① Vacuum tank ② Electromagnetic valve ③ Upstream tank
④ Electromagnetic flow meter ⑤ Digital memory ⑥ Load cells
⑦ Pressure transducer ⑧ Downstream tank ⑨ Check valve
⑩ Sound level meter ⑪ Level recorder ⑫ Pump
⑬ Flow regulating valve ⑭ Electromagnetic valve

Fig.1 Schematic diagram of experimental apparatus

ている弁座部付近の概略を示す。逆流防止弁の開き角 θ は、弁体と弁座部のジョイントに取り付けられたポテンシオメ

ータによって検出される。逆流防止弁と弁座の衝突によって生じる衝撃力は、固定部と O リングを介して設置されることで管軸方向に自由度のある弁座付近の配管(Fig.2 中の斜線部)を通して、固定された同一平面上に設けられた 4 点の荷重変換器へと加わる構造となっている。衝撃力はこれらの荷重変換器 4 点の合計値で評価する。逆流防止弁が急閉鎖した際に生じる騒音は、逆流防止弁近傍に設置した騒音計と、騒音レベルを記録するためのレベルレコーダにより測定した。

Fig.3 に、本研究で使用した逆流防止弁を示し、その重量を Table 1 に示す。標準弁・弁座角(α とする) 0° 用は円板状であり、標準弁・弁座角 $\alpha=15^\circ$ 、 30° 用は楕円状である。子弁 4 枚付きフラップ弁は、標準弁の上部、左右に 1 つずつ、下部に 1 つという様に計 4 つの円孔を設け、その部分に小さな逆流防止弁を取り付けたものである。これは弁本体—子弁と順に閉鎖させることで低衝撃および低騒音化を狙ったものである。ボンネットカバー付きゴム

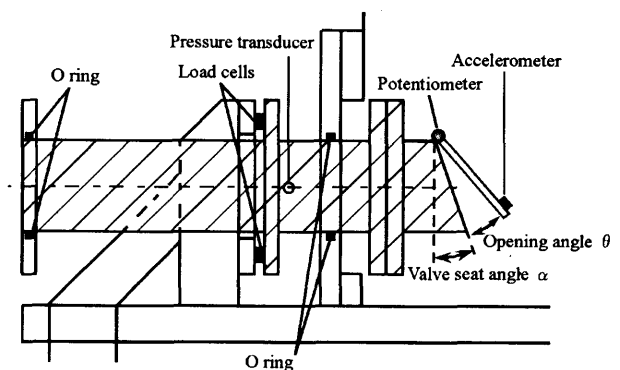


Fig.2 Zoomed-in view of the apparatus around the check valve

Table 1 Weight of each check valve

| Type of check valve | Weight [g] |
|--|------------|
| Standard valve (for $\alpha=15^\circ$) | 268 |
| Standard valve (for $\alpha=0^\circ$) | 258 |
| Standard valve (for $\alpha=30^\circ$) | 294 |
| Standard valve (for $\alpha=15^\circ$)+weight 105 g | 373 |
| Standard valve (for $\alpha=15^\circ$)+weight 188 g | 456 |
| Five-divided valve | 262 |
| Rubber stretched valve with mesh-cover | 252 |

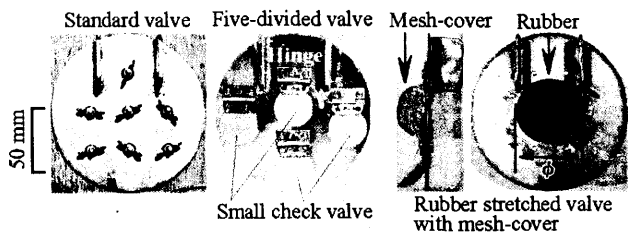


Fig. 3 Types of check valves used in this experiment

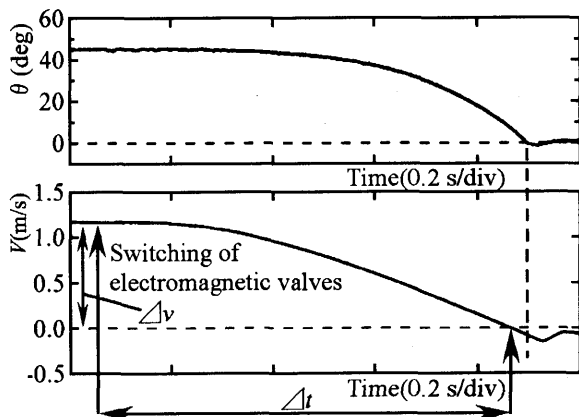


Fig. 4 Typical histories of the opening angle of the check valve and the flow velocity in the drainpipe

張りフラップ弁は、すでに本研究で特性を調べたゴム張りフラップ弁に、容積がおよそ 33 cm³ のステンレスメッシュ製ボンネットカバーを取り付けたものである。これまでの研究から、ゴム張りフラップ弁は、弁閉鎖時にゴム膜が変形して排水管内へと引き込まれることにより排水管内の圧力変動を抑え、また衝撃力も軽減する、優れた特性をもつことがわかっている。しかしその一方で、流速の減速率が大きな条件においてはその変形量に耐え切れずゴムが破断した。そこで、弁閉鎖時におけるゴム膜の変形量を抑え、ゴム膜を保護することを狙ったものがボンネットカバー付きゴム張りフラップ弁である。ゴム部の直径 $\phi=50$ mm、厚さ $t=0.5$ mm、ゴムの材質は天然ゴムである。標準弁を除いた特殊な弁は、いずれも弁座角 $\alpha=15^\circ$ で使用する。

実験方法は次のとおりである。

1. まず、Fig.1 の流量調整弁⑬により、実験装置内を循環する水の流量を所定の値にする。
2. 流量一定の状態、流入遮断弁⑭を閉じ、それと同時に真空開放弁②を開く。
3. 真空開放弁を開くことで、上流側タンク内が負圧となり、排水管内の流れが減速・逆流する。
4. 排水管内の流れが逆流すると、逆流防止弁は閉鎖する。
計測項目は、1) 排水管内の圧力変動、2) 弁体に生じる衝撃加速度、3) 弁座に作用する衝撃力、さらに4) 逆流防止弁近傍における騒音レベルである。また、弁体が閉鎖する際の様相を高速度ビデオカメラにより撮影する。

3. 実験結果と考察

3.1 流速減速率の定義

Fig.4 に、逆流防止弁が急閉鎖する際の排水管内の流速と、逆流防止弁開き角 θ の代表的な時間変化例を示しておく。

本節では、弁急閉鎖に伴う排水管内の逆流現象を代表するパラメーター $\Delta v/\Delta t$ を排水管内の流速減速率として定義した。ただし Δv を逆流防止弁が閉鎖する前の定常流れ時に

おける流速、 Δt を流入遮断弁が閉鎖して流速がゼロになるまでに要した時間とする。 $\Delta v/\Delta t$ は、排水管内の流速の全体的な減速率を表しており、排水管内の流速変化は逆流防止弁の挙動と密接に関係することから、この流速減速率 $\Delta v/\Delta t$ を本実験での計測結果をまとめるパラメーターとして用いることにする。

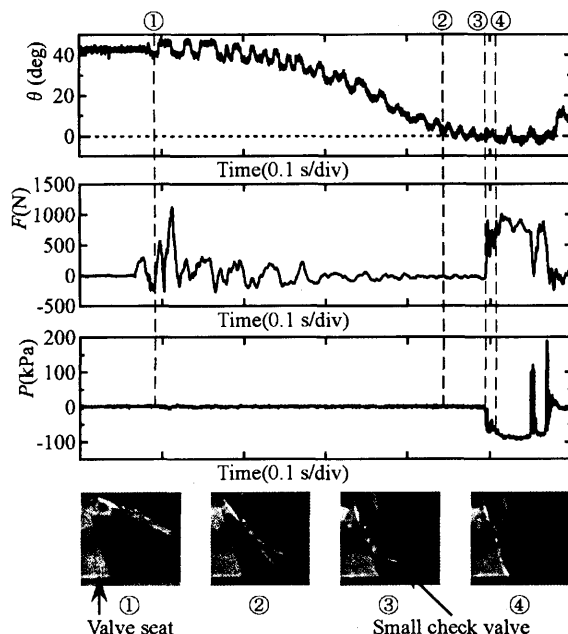


Fig. 5 Closing behavior of the five-divided valve at sudden closure ($V=1.16$ m/s, $\Delta v/\Delta t=3.09$ m/s²)

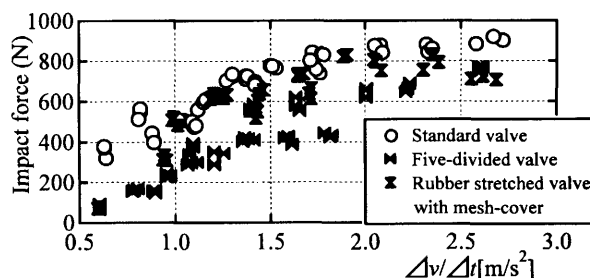


Fig. 6 Peak values of the impact force on the valve seat

3.2 低衝撃型逆流防止弁の動特性

Fig.5 に、子弁 4 枚付きフラップ弁が急閉鎖する際の、弁座に作用する衝撃力 F (N)、弁の開き角 θ (deg) および弁近傍における排水管内圧力 P (kPa) の時間変化を示す。このときの実験条件は、排水管内初期流速 $\Delta v=1.16$ m/s、流速の減速率 $\Delta v/\Delta t=3.09$ m/s² である。図中の写真①～④は、 θ の履歴に示されている①～④の時刻と対応している。

Fig.5 から子弁が閉鎖した後に排水管内の圧力はおよそ 90 kPa まで低下し、その後圧力の急激な立ち上がりが生じている。これは圧力低下に伴う水柱分離現象と、それに続いて生じる水柱再結合によるものと考えられる⁽²⁾⁽³⁾。なお時刻①の直後に、最大 1000N の衝撃力の発生が確認できるが、これは弁作動時に生じる振動が配管系を伝播したためと考えられる。

Fig.6 に、逆流防止弁が急閉鎖する際に弁座に作用する衝撃力を示す。まず子弁 4 枚付きフラップ弁は、 $\Delta v/\Delta t$ によらず標準弁に対して衝撃力が小さいことがわかる。またボンネットカバー付きゴム張りフラップ弁に関してもわずかながら低衝撃化の傾向が認められる。なおボンネットカバーの容積を大きくすることで、低衝撃化の効果は増大する

ものと推察できる。

ボンネットカバーの面積はゴム膜の面積のほぼ2倍である。逆流防止弁閉鎖時にはゴム膜はおよそ2倍の面積に広がることになる。実験は40回ほど連続して行ったが、それによりゴム膜が劣化した様子は現れなかった。したがって、排水管内径などの制限はあるが、ボンネットカバーには現行のものよりさらに大きなものが望ましいと考えられる。

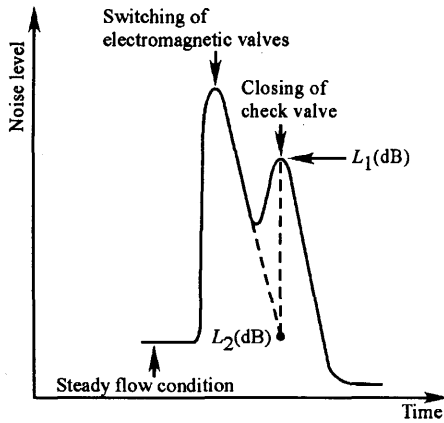


Fig.7 Typical noise level history

3.3 逆流防止弁急閉鎖時の弁近傍における騒音

逆流防止弁が急閉鎖した際、衝撃音も問題になっている。そこで、普通騒音計を用いて逆流防止弁急閉鎖時に生じる騒音を弁近傍で測定し、弁座角が騒音にどのような影響をもたらすか調べた。騒音計の設置位置は、逆流防止弁と騒音計センサとの水平距離が41 cmであり、高さは排水管と等しい位置にした。

Fig.7に、本実験における逆流防止弁急閉鎖時前後の典型的な騒音レベル履歴を示す。本研究で用いた実験機器設備では、電磁弁作動に伴うバックグラウンドの騒音が騒音レベルに含まれるため、以下のように補正を行った。L₁(dB)を逆流防止弁急閉鎖時における騒音計で計測した騒音レベルとし、L₂(dB)をバックグラウンドの騒音がないと仮定した場合の騒音レベルとする。そしてL₁からL₂を差し引いたもの(=L₃とする)を逆流防止弁急閉鎖による騒音とした。具体的には式(1)を用いて算出した。

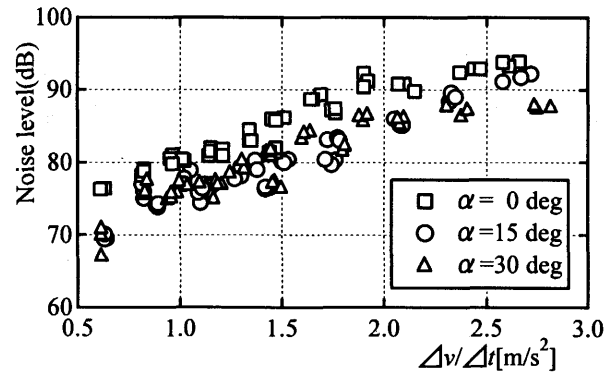
$$L_3 = 10 \log_{10} \left(10^{L_1/10} - 10^{L_2/10} \right) \quad (1)$$

3.4 騒音に及ぼす弁座角の影響

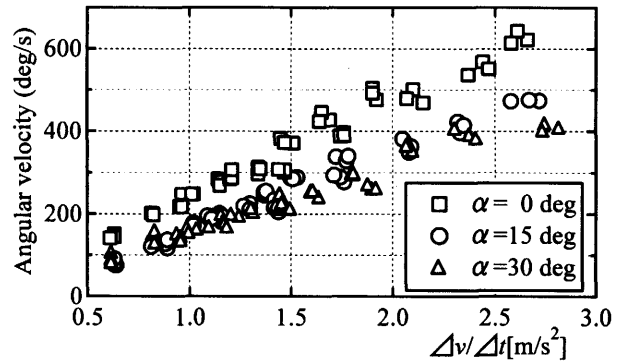
Fig.8(a)に、3種類の弁座角 α (=0, 15, 30 deg)について、 $\Delta v/\Delta t$ と騒音レベルの関係を示しておく。図より $\Delta v/\Delta t$ が比較的大きい場合には、騒音レベルは弁座角に反比例していることがわかる。

また、弁が急閉鎖する直前の弁の角速度を、弁開き角の履歴を用いて弁閉鎖直前の0.05秒間における弁開き角の変化から求め、 $\Delta v/\Delta t$ との関係をFig.8(b)に示した。この図から、弁座角を大きくすることで弁の角速度が小さくなることがわかる。

弁座角の存在は、騒音レベルと弁角速度の両者の低減に有効であることが分かる。またFig.4から、逆流防止弁の急閉鎖過程において、弁は加速しながら閉鎖していることが分かる。従って、弁座角を設けると定常流れ時における、逆流防止弁の開き角が相対的に小さくなり、弁閉鎖直前の角速度を減少させ、さらにそれが騒音レベルの抑制につながったと考えられる。



(a) Noise level



(b) Angular velocity

Fig.8 Effects of the valve seat angle

4. 結 言

本研究では、逆流防止弁急閉鎖時の衝撃や騒音を緩和・抑制するための手段を見出すことを目的として、弁閉鎖時に生じる衝撃力・騒音レベルの測定を行った。2種類の低衝撃型逆流防止弁の衝撃力測定および弁の挙動の観察、また騒音への弁座角の影響を調べ、次のことが明らかとなった。

- (1) 標準弁と比較して、子弁4枚付き弁、ボンネットカバー付きゴム張りフラップ弁は衝撃力に関して優れた特性が認められる。
- (2) 騒音を抑制する手段として、弁座角を設けることは有効である。本研究における実験条件の範囲では、弁座角が大きいほど騒音を抑制する効果が大きいことが明らかとなった。

参考文献

- (1) 宮本・良・石川・藤原, 逆止め弁のスラミング, エバラ時報, No.128(1984-4), 64-68.
- (2) 溝端・杉山・大谷・大石・佐々木・武者・三輪, 排水ポンプ用逆流防止弁の動特性, 日本機械学会論文集(B編)68巻672号(2002-8), 2225-2231.
- (3) 武者・三輪・杉山・溝端・佐々木・大谷, フラップ弁の動特性, エバラ時報 No.197(2002-10), 25-29.