

## 206 排水ポンプ用逆流防止弁の動特性に関する研究

## Study on dynamic characteristics of a check valve for drain pumps

○学 山下 明彦 (室蘭工大・院) 正 杉山 弘 (室蘭工大) 正 溝端 一秀 (室蘭工大)

正 武者 裕之 (荏原製作所) 正 三輪 俊夫 (荏原製作所) 学 小笠原 久敏 (室蘭工大・院)

Akihiko YAMASHITA, Hiromu SUGIYAMA, Kazuhide MIZOBATA, Hiroyuki MUSHA, Toshio MIWA, Hisatoshi OGASAWARA  
Dept. of Mechanical Systems Eng., Muroran Institute of Technology, 27-1, Mizumoto, Muroran, Hokkaido, 050-8585 JAPAN

Key Words : Check Valve, Drainage pipe, Impact Acceleration, Water Column Separation, Fluid Transients

## 1. 緒言

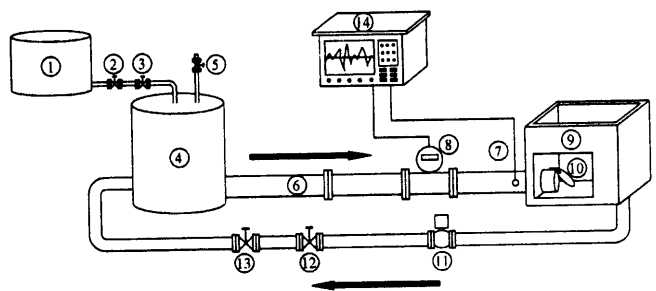
本研究で取り扱う逆流防止弁は、河川の支流と本流の合流点に設置される排水機場や、ポンプ場の排水管吐出口に取り付けられており、排水管内の逆流を防ぐという重要な役割を担っている。逆流防止弁は、通常時はゆっくりと閉鎖するが、停電などの不測の事態によってポンプが急停止した際には、排水管内の流れが急激に減速・逆流しそれに追従して急閉鎖する。この時、逆流防止弁、弁座部、配管継ぎ手などを損傷させるほどの大きな衝撃が発生する。このような逆流防止弁急閉鎖時の衝撃の発生メカニズムや弁の挙動に関する研究は少なく、不明な点が多い<sup>(1)</sup>。

そこで本研究では、逆流防止弁が急閉鎖する際の衝撃を緩和・抑制するための手段を見出し、衝撃が小さい高性能な逆流防止弁の設計法を探るということを目的とし、弁急閉鎖時の弁の挙動や周辺の流れ様相を実験的に調べ、明らかにする。

## 2. 実験装置と実験方法

Fig.1, Fig.2 に排水機場を模擬した逆流防止弁実験装置の概略を示す。上流タンクと下流タンクを、長さ 2375 mm、内径 100 mm の排水管でつなぎ、排水管末端部の吐出口には逆流防止弁⑩が取り付けられている。実験装置内の水は、図中の矢印で示す方向に循環して流れており、排水管内の流速は電磁流量計⑧から求めた。また逆流防止弁が閉鎖した際の排水管内の圧力変動を測定するために、弁直前に圧力変換器⑦を設置した。さらに、逆流防止弁が急閉鎖した際に生じる衝撃加速度を測定するために、下流タンク壁面に加速度計を取り付けた。

実験方法は次のとおりである。まず流量調整弁⑫により、装置内を循環する水の流速を所定の値にする。流速が一定になった後、流入遮断弁⑬を閉じ、それと同時に真空開放弁③を開く。これにより上流側タンク内が負圧になり、排水管内の流れは減速し、その後逆流を始める。これに追従して逆流防止弁は急閉鎖する。この際の排水管内における圧力の挙動や下流タンクに生じる衝撃加速度を、圧力変換器及び加速度計で測定する。



- ① Vacuum tank ②  $\Delta v/\Delta t$  Adjustment valve ③ Vacuum opening valve  
④ Upstream tank ⑤ Air extraction valve ⑥ Drainage pipe  
⑦ Pressure transducer ⑧ Electro-magnetic flow meter  
⑨ Downstream tank ⑩ Check valve ⑪ Circulation pump  
⑫ Flux adjustment valve ⑬ Inflow interception valve ⑭ Digital scope

Fig.1 Schematic diagram of the experimental apparatus.

## 3. 実験結果及び考察

## 3.1 逆流防止弁急閉鎖時における排水管内の流速の時間変化

Fig.3 に逆流防止弁が急閉鎖する際の排水管内における流速の時間変化を示す。流入遮断弁を閉じ、それと同時に真空開放弁を開くと、流速は減衰していきその後逆流する。逆流防止弁はこの逆流に追従して閉鎖する。ここで、逆流防止弁が閉じる前の定常流れ時の流速を  $\Delta v$ 、流入遮断弁を閉じた後、流速がゼロになるまでに要した時間を  $\Delta t$  とすると、 $\Delta v/\Delta t$  は逆流防止弁が急閉鎖する際の、排水管内の流速の全体的な減衰率を表している。この流速の減衰率  $\Delta v/\Delta t$  を本実験における重要なパラメータの一つとして用い、逆流防止弁が急閉鎖する際に発生する衝撃加速度の特性をまとめることにする。

## 3.2 逆流防止弁急閉鎖時の圧力変動

Fig.4 に排水管壁面に取り付けられた圧力変換器で測定した、逆流防止弁急閉鎖時における、弁衝突前後の排水管内の壁面静圧及び下流タンクに発生した衝撃加速度の時間変化を示す。図の縦軸はゲージ圧  $P$  [kPa] および重力加速度  $G (=9.8 \text{ m/s}^2)$  の倍数  $A_n$ 、横軸は時間  $t$  [s] である。3つのグラフはいずれも上の波形が圧力、下の波形が下流タンクの衝撃加速度を示している。なおグラフは上から、それぞれ圧力緩和装置(空気立ち上げ管)なしの場合、直径 13 mm の空気立ち上げ管を取り付けた場合、そして排水管と同口径である、直径 100 mm の空気立ち上げ管を取り付けた場合の実験結果となっている。実験条件として、下流タ

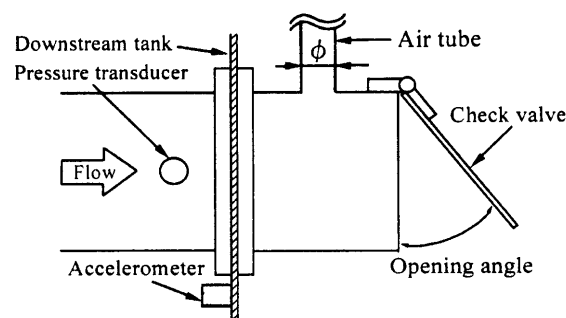


Fig.2 Schematic diagram of the check valve and measuring instruments.

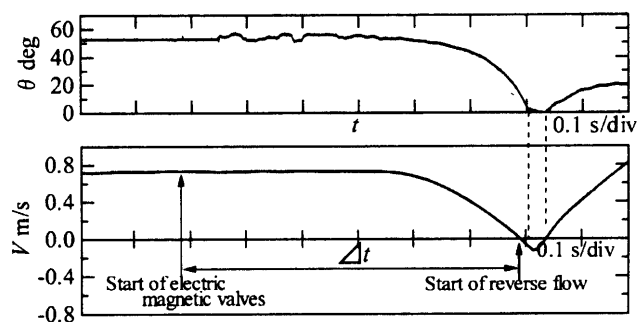


Fig.3 Histories of the flow velocity in the drainage pipe and the opening angle of the check valve.

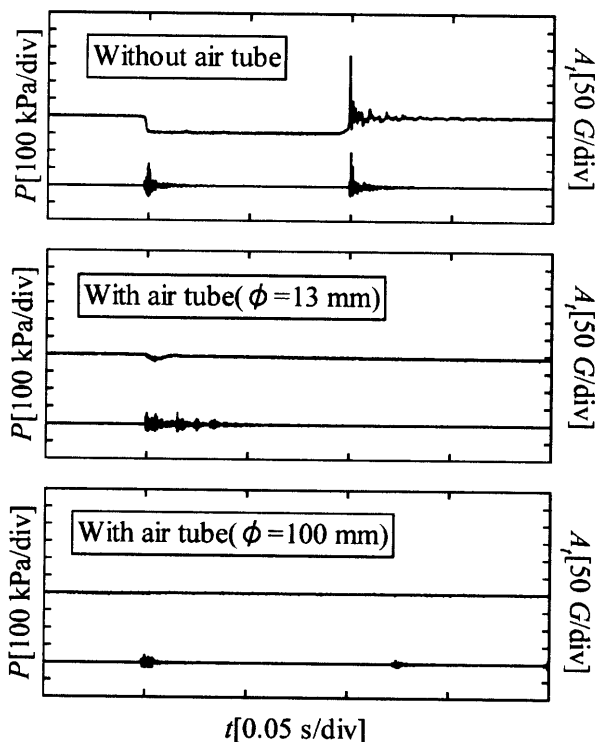


Fig.4 Histories of the static pressure inside the drainage pipe and the impact acceleration( $v=1.2$  m/s,  $\Delta v/\Delta t=3.0$  m/s<sup>2</sup>).

ンクの水水位は 400 mm である。下流タンクの衝撃加速度において、1 つ目のピークが弁と弁座が衝突した瞬間を表している。このグラフより、空気立ち上げ管が無い場合、逆流防止弁が急閉鎖した後排水管内の圧力が急激に低下し、-100 kPa 付近まで低下していることがわかる。すなわち、逆流防止弁が急閉鎖した後の排水管内の圧力は飽和蒸気圧付近まで低下しているのである。そのため、排水管内の弁近傍において水が蒸発して蒸気空洞が形成されるいわゆる水柱分離が発生する。なお逆流防止弁が急閉鎖した際、弁付近から膨張波が発生することが確認されている。この膨張波は、排水管内を伝播し上流タンクで圧縮波となって反射し再び排水管内を伝播する。そして水柱分離に達した圧縮波と、水柱自体の張力が影響して、水柱分離の再結合が起こり、急激な圧力上昇(衝撃圧力)が起きる<sup>(2)(3)</sup>。なお下流タンクの衝撃加速度について、2 つ目のピークはこの急激な圧力上昇と同時に発生していることから水柱分離再結合によるものであると考えられる。

これに対し、直径 13 mm の空気立ち上げ管を取り付けた場合、空気立ち上げ管が無い場合と同様に逆流防止弁急閉鎖時の圧力低下は確認できるが、圧力の最小値はおおよそ -40 kPa である。これは、空気立ち上げ管を取り付けたことにより、逆流防止弁が急閉鎖して逆流する際に、排水管内に空気が流入するので排水管内の圧力が大気圧を維持しようとするためである。また、弁近傍の観察からは空気立ち上げ管なしの場合とは異なり水柱分離は確認できなかった。つまり空気立ち上げ管の設置により排水管内の圧力降下を緩和したため、水柱分離の発生を抑えることができたと考えられる。圧力の時間変化を見ても、衝撃圧力は生じていないことから、水柱分離は起こらなかったことが確認できる。

次に直径 100 mm の空気立ち上げ管を取り付けた場合、逆流防止弁が急閉鎖しても圧力にほとんど変動が無いことがグラフから確認できる。直径 13 mm のものと比べると直径 100 mm の空気立ち上げ管は断面積が非常に大きいので、逆流防止弁急閉鎖時における排水管内への空気の流入量も大きくなる。つま

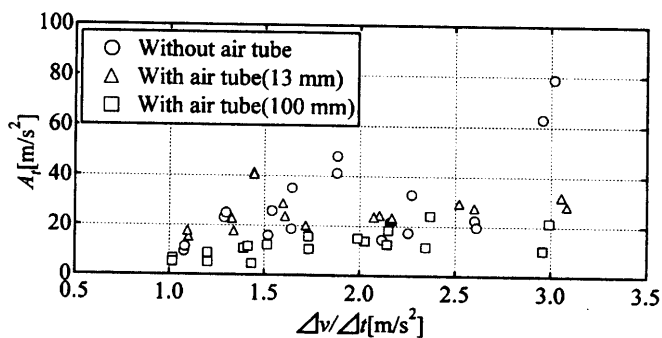


Fig.5 Relationship between impact acceleration and  $\Delta v/\Delta t$ .

り弁が急閉鎖した際の排水管内を大気圧に維持しようとする効果が大きいため、圧力にほとんど変化が現れなかったと考えられる。もちろん圧力降下がほぼ完全に抑制されているため水柱分離が発生することは無く、よって水柱分離再結合に伴う衝撃圧力の発生も防止することが可能である。

以上より、排水管内の圧力降下を緩和するという点に関して、空気立ち上げ管の効果は非常に大きいことがわかる。したがって空気立ち上げ管を設置することにより、水柱分離の発生を抑制することが可能である。

### 3.3 下流タンクに生じる衝撃加速度

Fig.5 は、逆流防止弁急閉鎖の際に、下流タンクに取り付けられた加速度計から得られた衝撃加速度と、流速の減衰率  $\Delta v/\Delta t$  との関係を示したものである。下流タンクの水水位は 400 mm である。それぞれの条件に対して、 $\Delta v/\Delta t$  が增大するにつれて衝撃加速度も増大していることがわかる。これは  $\Delta v/\Delta t$  が増大すると、逆流時の弁近傍における流速が増大するため、弁が弁座に衝突するときの角速度が大きくなって下流タンクに生じる衝撃加速度も増大したためと考えられる。次に  $\Delta v/\Delta t$  がおおよそ 1.0 m/s<sup>2</sup> では空気立ち上げ管の有無による衝撃加速度の違いは小さいが、 $\Delta v/\Delta t$  が大きくなると、空気立ち上げ管を設置したことにより衝撃加速度が抑制されていることがわかる。排水管内の水が逆流する際、空気立ち上げ管から空気が流入することにより弁近傍の水の流速が抑えられ、それにより弁が閉鎖するときの角速度も小さくなって、弁と弁座が衝突した際に生じる衝撃加速度が小さくなったと考えられる。

## 4. 結言

本研究では、排水機場を模擬した実験装置を用いて、逆流防止弁が急閉鎖する際に、弁及び弁座が設置されている下流タンクの壁面に生じる衝撃加速度や、排水管内の圧力変動に及ぼす空気立ち上げ管の影響を調べた。その結果、以下のことが明らかとなった。

- (1) 逆流防止弁直前の排水管内に空気立ち上げ管を取り付けることで、弁急閉鎖後の排水管内の急激な圧力低下を抑えることができる。またそれにより水柱分離を緩和し、水柱分離再結合によって生じる衝撃圧力の発生を防止することが可能である。
- (2) 空気立ち上げ管の設置により、逆流時における弁近傍の流速を抑え、弁の角速度を小さくすることによって下流タンクに生じる衝撃加速度を軽減することができる。

### 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 (1967.8), 64-68
- (2) 三輪・中村・林・山本・佐野, 長距離送水管路における水柱分離現象, エバラ時報 No.149 (1990.10), 1-9
- (3) 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), pp.2229