

〔論 文〕

## 水撃緩和リフト型逆止弁の開発

白石 元<sup>\*1</sup>・手島 博行<sup>\*2</sup>

Development of Check Valve Reducing Water Hammering Effect

Hajime SHIRAISHI, Hiroyuki TESHIMA

## Abstract

Plumbing systems in buildings water hammer phenomenon because of pump be starting up fast and so air is compressed in pipes. Water hammer phenomenon will be in regard to pipe's deterioration, leaks and noises. To prevent these problems, we need to use method that check valve opens slowly. First we made prototype-valve, but came up against failure behavior, reason of friction force rises, when water hammer go on. Considering these reasons, researcher checked up spool prototype design and refined, in the next place made dynamic mathematical model. The researcher confirmed the advantageous effects by using simulation.

## 1. 緒 言

ビル等の給排水配管はポンプによって、起動瞬時より必要水量が流れるため、管路内のエアが圧縮され水撃(ウォーターハンマ)が発生しやすい。ウォーターハンマは配管の劣化、漏水、騒音などに深く関わるが、これを防止するためにはポンプ起動時に自動的にチェック弁を徐々に開き急激なエア圧縮を避け水撃を防止することが必要になる。このようなチェック弁はビル等の揚水ポンプ、消火栓ポンプ、スプリンクラーポンプ、など多種多用に活用できる。

今回、これらのことを考慮した水撃防止逆止弁の試作設計を行った。最初の試作で問題となっているのは水撃が弁体に当たった後、可動しなくなってしまう現象がみられることである。本研究ではまずこの現象を解析し、問題点を解決するための弁体の形状を考察した。また改良した弁体形状の水撃によるシミュレーションを行ったところ有効である結論を得た。

## 2. 作動原理

Fig. 1に最初の構想企画図を示す。作動原理は、まずポンプが起動し水が吐出されると、弁(1)が水圧

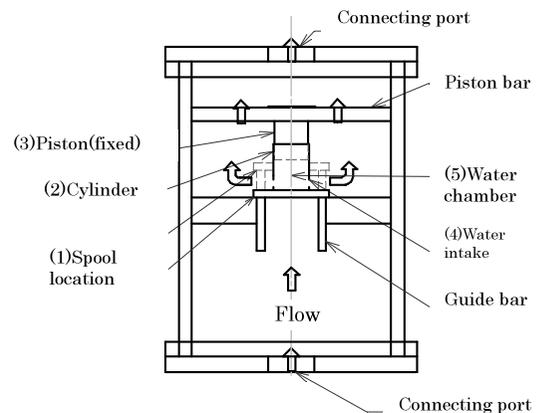


Fig. 1 Proto-conception picture of check valve

により押し上げられ(2)のシリンダーと(3)のピストンの作用により(2)のシリンダー内の(5)の水が圧縮され(4)の水吸排口より水が、徐々に排出されながら弁(1)も徐々に上昇し送水する。弁(1)とシリンダー(2)は固定されている。ポンプ水は徐々に送水され水撃作用を防止する。続いてポンプを停止させる場合はポンプ吐出側にポンプ揚程分の背圧が急激に(1)の弁にかかり、通常では水撃作用が起こるが同上の逆作用で(2)のシリンダーと(3)のピストンが引っ張り側に作用

\*1機械システム工学科  
平成24年1月30日受理

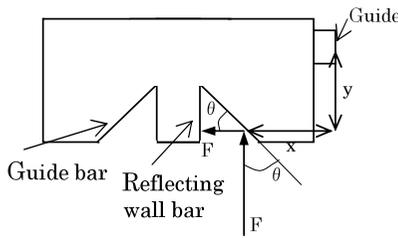
\*2株式会社立堀製作所

し(4)の水吸排口より水を徐々に吸いこみ(1)の弁も徐々に下がり止水する。(逆止弁効果)

3. 弁体形状考察

水撃が起こった場合でも弁体の動きがスムーズに行われるよう弁(スプール)の形状を考察した。

水撃発生時、支え部分と弁ガイドバーに作動不良が起こる問題を解決する為、水室の壁を傾けると同時に弁ガイドバーの中心に壁をつけ、傾斜に当たった水撃の反射を中心の壁にあて、発生するモーメントを解消する方法を試行した。Fig. 2 に概念図を示す。



F: Water hammer force. x: Moment arm for F.  
y: Moment arm for F.

Fig. 2 Schematic of enhanced spool

スプールと水平に水撃 F が入った場合、衝撃力が傾斜部分に直接当たった力のガイド回りのモーメントは  $F \times x$ 、衝撃力が跳ね返って中心部分の壁に当たったとき発生するモーメントは  $F \times y$  となる。この2つのモーメントが等しくなればスライド部でのスプールの曲げようとするモーメントはキャンセルできるためガイドバーの角度は  $\theta = 45^\circ$  が適当であると思われる。

4. 水撃によるシミュレーション実験

弁体形状により、ガイドと弁体の間に働く摩擦力がどのように変化するか、また弁体の移動量はどのようになるかシミュレーション実験を行った。

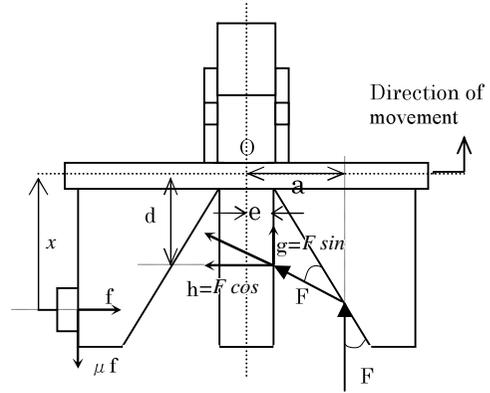
運動方程式を式(1)に 0 点回りのモーメントを式(2)に示す。

$$m\ddot{x} + c\dot{x} - \mu f = F + F \sin \theta \tag{1}$$

$$F \times a + (F \sin \theta \times e) - (F \cos \theta \times d) = fb \tag{2}$$

また実験は以下の方法で行った。

まず、弁ガイドバーが垂直と45度傾斜の時、水撃 F が当たった時の弁位置の移動量、及び弁体と



- F: Water hammer force [N]
- x: Spool movement [mm]
- m: Mass of spool [kg]
- c: Coefficient damper [ - ]
- f: Perpendicular force [N]
- $\mu$ : Coefficient of dynamic friction [ - ]
- a: Moment arm for F [mm]
- d: Moment arm for h [mm]
- e: Moment arm for g [mm]
- $\theta$ : Spool angle to F [  $^\circ$  ]

Fig. 3 List of symbols for motion equation

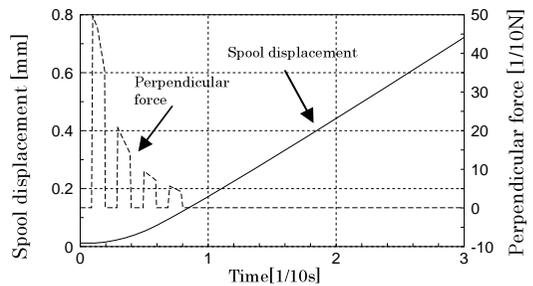


Fig. 4 Spool movement and perpendicular force without guide-bar angle

スライド部にかかる垂直効力 f の変化を計算する。このとき衝撃力はステップ状で 0.01 [s] ごとに 5 N の力を 4 回発生させた。

Fig. 4 は、弁ガイドバーが水の方に対して平行な場合のものである。水撃の力  $F = 5$  [N] が入った時の弁の移動量と弁本体とスライド部の垂直効力を示している。0.3秒後には弁の移動量は 0.7mm となる。また弁体が移動するに伴い垂直効力も減少している。

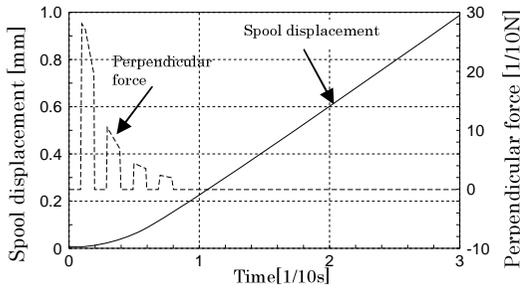


Fig. 5 Spool movement and perpendicular force with guide-bar angle 45-degree

続いて、ガイドバーが水の方向に対して傾斜している場合を考察する。Fig. 5はFig. 4と同様に水激の力  $F = 5 \text{ N}$  が入った時の弁の移動量と垂直効力を表したものである。垂直効力はFig. 4に比べてどのピークも60%程度減少させることができている。弁本体の移動量を見ると0.3秒後には1.0mm程度となり、Fig. 3の場合より弁の平均移動速度は速くなっていることがわかる。これは、垂直効力が減少している為であると考えられる。

これらのことから、水撃が当たる部分を45°に傾斜にさせることは弁体とスライド部の摩擦を減少させることに有効であることが観察された。

続いて垂直効力  $f$  は、式(2)より式(3)で表すことができる。

$$f = \frac{F \times a + F \sin \theta \times e - F \cos \theta \times d}{x} \quad (3)$$

となる。ここで  $x$  は移動距離であり、その他の項は一定である。 $x$  が大きければ摩擦係数  $\mu f$  は小さくなる。よってダンパとして働いている係数  $c$  を変化させスプールを素早く動かした場合のスプール移動量と垂直効力を観察した。ガイドバー角度45°でダンパ係数を1.0に固定した場合の変化をFig. 6に示す。衝撃力をステップ状に4回与えた後、0.1[s]後に同様のものを2回与えた。

次にスプールの移動量によりダンパ係数を変化させた結果をFig. 7に示す。計算数値としてスプール移動量0.3[mm]以下の時にダンパ係数=0.1、スプール移動量0.3[mm]以上の時にダンパ係数=1.0とした。

弁の移動量について比較するとFig. 6では0.1秒後には弁の移動量は0.19mm程度であり、Fig. 7では0.25mm程度で速度が速くなっていることが観察され

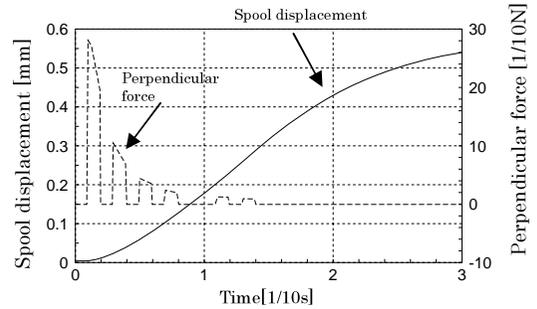


Fig. 6 Spool movement and perpendicular force with damper coefficient 1.0 fixed

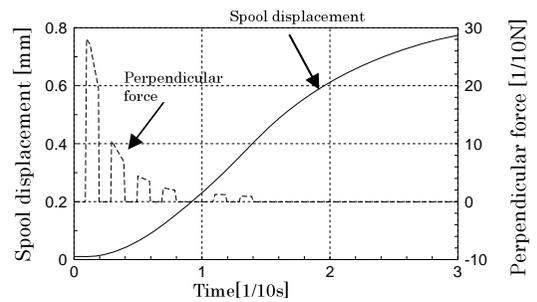


Fig. 7 Spool movement and perpendicular force with damper coefficient changed

る。水激が弁体に当たった瞬間に微量弁体をすばやく動かすことにより0.1秒後に発生させた2つの衝撃力に対し、摩擦力は減少していることがわかる。

## 5. 水吸排口の形状検討

スプールを素早く動かすことで摩擦力を小さくできることは確認されたが、水撃を減少させる為の逆止弁であるため、弁開口部が大きく開くところまで、素早く弁体を動かすと水撃が2次側に伝わってしまう恐れがある。よって水吸排口の形状によってダンパ係数を変えることを検討した。

Fig. 8は、シリンダーの側面についている水吸排口の断面図である。これはピストンが上下に動く時、水室から水が吐き出される穴の形状である。水激が当たった直後は弁体を速く動かしスライド部の摩擦力を小さくする為、穴を大きくしてダンパ係数を小さくした。その後は、水激力を2次側に伝えないため、穴の大きさを小さくしダンパ係数を大きくしている。

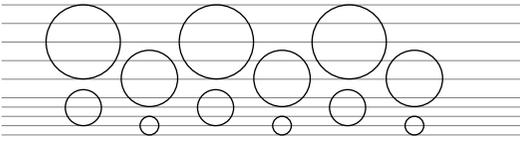


Fig. 8 Cross-section view of water intake

## 6. 最終形状

以上の結果を考慮し、本弁では水撃を受ける弁体の傾斜角度を45度にする、弁体の中心に棒状のものをつけること、水吸排口の断面形状を変化させることなどから最終形状を Fig. 9のように検討した。

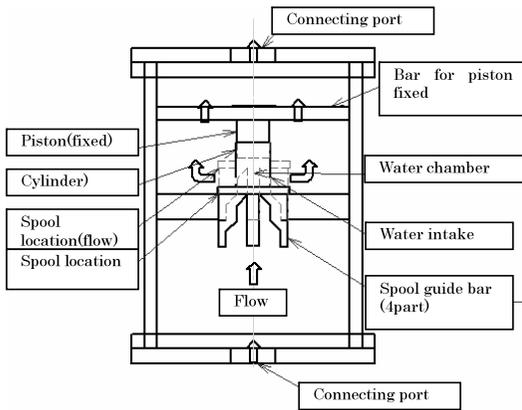


Fig. 9 Improved conception picture of check valve

## 7. 結 言

今回、水撃防止の効果がある逆止め弁の試作設計をおこなった。まず、弁が作動中に動かなくなる現象を考慮したところ、衝撃圧力により弁体スライド部の摩擦力が大きくなることが考えられた。

その解決策として弁体に傾斜をつけ、さらに中心部に棒状のものを配置した。また弁体とスライド部の摩擦は弁体の移動距離が大きいほど減少させることができるため、シリンダーに空けた水吸排口の穴形状を考慮し弁体の移動速度を上げた。これらの結果を衝撃力がかかった場合を想定してシミュレーションを行ったところ、弁体とスライド部の摩擦力は約60%に減少しており良好な結果を得た。

## 参考文献

- (1) “水力学・流体力学”，市川，朝倉書店，1981
- (2) “流体の力学計算法”，東京電機大学出版局，森田，1996