５５　玉形弁の弁体回転メカニズム

大阪支所　　＊伊飼　通明
（株）栗本鐵工所　鉄管事業部　畑中　哲夫
群馬大学工学部　　天田　重庚

１．はじめに

玉形弁は、閉止性能を高めるために図１に示すように弁体を固定せず、回転自由とし、閉止時に弁体と弁座が密着する構造となっている。このため、玉形弁の上流側にエルボが組み込まれた配管系の場合、エルボにより発生した流れの偏りにより弁体が回転して弁棒との摩擦から弁体支持部が摩耗して閉止性能が低下する、あるいは最終的に弁体が弁棒から脱落して使用不能となるケースが報告されている[(1)]。そこで、配管系の安全性を確保するため、弁体の回転メカニズムを解明した。

２．実際の配管系の調査

弁体回転による事故はエルボが原因であると考えら、実際の配管系においてエルボと玉形弁の設置位置について調査を行った。図２は船舶のセットリングタンク（エンジンに燃料を送る前に一時的に燃料を暖めるタンク）に設けられた配管系である。狭い機関室内であることより玉形弁がエルボに近接して設けられている一例である。

３．弁体回転実証実験

まず、図３に示すような配管系で弁体が回転するかの実証実験を行った。玉形弁には、弁体回転観測用のアクリル製の窓が設けてある。弁実流実験装置のポンプの性能が低いことから、実際の青銅製弁体(830g)では回転させることはできないと考えられ、図４に示すアルミ製弁体(157.7g)を製作し、実験を行った。実験の１次側配管内での平均流速は約3.06m/sである。パラメータとしてエルボと玉形弁との距離を0mmと200mmとした。図３はエルボと玉形弁の距離を200mmにした場合の実験装置である。図に示す矢印は流れの方向を示す。

図５に実験結果を示す。この実験から弁体が一定方向に常時回転しているを実証した。弁体の回転方向は、図３に示す右側からのエルボの場合、

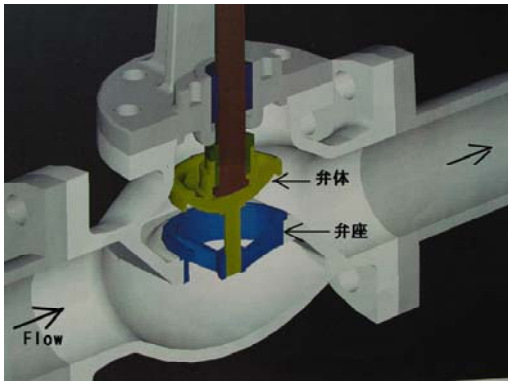

図１　玉形弁の構造

図２　実際の配管系

図３　弁回転実証実験装置

反時計回りに回転することが解った。

３．１実験結果

図５に実験結果である弁体の開度と弁体の回転数の関係を示す。実験範囲は開度(弁座と弁体の

図４　アルミ製弁体

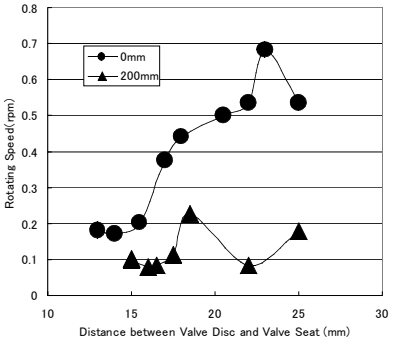

図５　弁体回転数と弁体開度との関係

距離)13mmから25mmである。実験結果からパラメーターであるエルボ･玉形弁間の距離について、玉形弁とエルボが離れるにしたがい、回転数が減少していることが解った。これは、玉形弁とエルボが離れるにしたがい、玉形弁内での流れの偏りが少なくなり、弁体に働く偏った力も減少したために弁体の回転数が減少したと考えられる。

一方、弁体が閉じて行くに従い回転数が減少しているのは、弁体と弁座の開口部分での流れの偏り(最高流速と最低流速の差)が減少し、流速も平均化され弁体に働く偏った力も減少したためと考えられる。

４．弁体回転モーメントの計測値と計算値の比較

４．１弁体回転モーメントを求める式

弁体が回転することを実証したが、弁体の回転を防止するために弁体に作用する回転モーメントを知っておく必要がある。弁体が回転するのは、弁体近辺での流れが管軸に対して左右の流速分布が不均一(流れの偏り)であることが原因と考えられる。玉形弁の1次側より弁座を通過した流れは弁体に沿って2次側に流れる。弁体表面に接している流体の流速は0m/sであるが、弁体表面から離れるに従って流速は増加していくものと考えられる。このために弁体表面と流体との間に流体の粘性に基づくせん断応力が生じる。このせん断応力により生じる回転モーメントの積分値が0とならず、一方向に回転モーメントが作用し、弁体が回転しているものと考えられる。そこで、すべての呼び径に対応した弁体に作用する回転モーメントを求める方法を考える。図６に弁内の流れと粘性に基づくせん断応力との関係を示す。図は、弁体から垂直にLの距離にある点Pを示し、点Pにおける弁体軸に対して直角な流れの流速Vを示している。

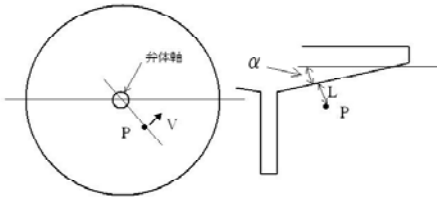

図６　弁体付近での流速Ｖと距離Ｌの関係

粘性に基づくせん断応力は、式(1)に示すように粘性係数に速度勾配を乗じたものである。従って、弁体近くでの速度勾配の大きさが弁体を回転させるせん断応力の大きさに比例している。

$$\tau = \mu(dV/dL) \qquad (1)$$

τ:せん断応力　　V:流速
μ:粘性係数　　L:距離

そこで、点PからL離れた弁体での速度勾配は、近似的に1/7乗則によって求められる。弁体近辺での各位置での速度が解れば、1/7乗則より速度勾配が求められる。弁体を回転させるには、Vが高速の流れであり、かつ流れの偏りが大きいことが必要である。

次に弁体を回転させるモーメントであるが、図７に示す微小環状面積に作用するせん断応力と弁体を回転させるモーメントの関係は、式(2)のように表すことができる。

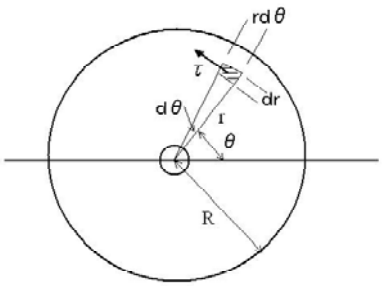

図７　弁体でのせん断応力τと半径rとの関係

$$dM = \tau \bullet r \bullet rd\theta \bullet dr / \cos\alpha \qquad (2)$$

M:回転モーメント　　τ:せん断応力
r:半径　　α:弁体の角度

式(2)に式(1)を代入して、弁体の全面積についての回転モーメントを表した式が式(3)である。式(3)は考え方を表した式であり、すべての呼び径の弁体に作用する回転モーメントが求められると考える。

$$M = \int_{\theta=0}^{2\pi}\int_{r=0}^{R} \mu\frac{dV}{dL} \bullet r \bullet rd\theta \bullet dr / \cos\alpha \qquad (3)$$

M:回転モーメント　　V:ある位置での流速
θ:ある位置での角度　　L:弁体とある流れとの距離
R:弁体の半径　　μ:粘性係数
α:弁体の角度

４．２流体解析

次に式(3)は概念的であることから、式(3)を用いて弁体に作用する回転モーメントの推定を行った。回転モーメントを求めるためには、弁体付近での流速分布の値が必要であるが、実際に弁体付近での流速分布を計測できないことから、数値解析でもって流れの偏りの存在と弁体付近での流速分布を求めた。

図８に示す玉形弁とエルボ間の距離を0mmとした配管系について解析を行った。流入境界条件は管軸方向流速成分を3m/sで、流出境界条件の圧力は0Paと定義している。解析結果から、流れの偏りを定性的に調べるために、また式(3)に代入する流速Ｖを求めるために流速分布を求めた。図９に示した値は弁体軸に直交する平面内の流速ベクトルである。 図から管軸に対して流速ベクトル

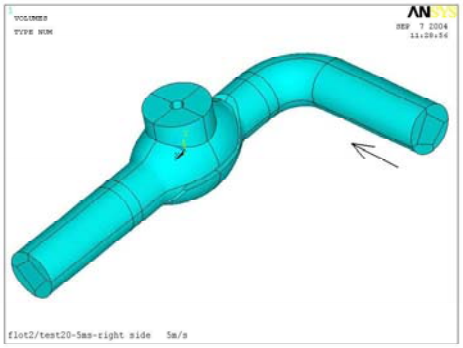

図８　玉形弁とエルボの配管系解析モデル

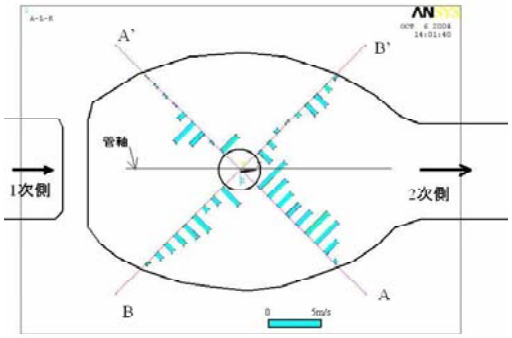

図９　弁体に直交する流速ベクトル(m/s)

が左右対称となっておらず、流れの偏りがあることが解る。

４．３弁体回転モーメントの推定

一方、図９から得られた流速分布の結果を式(3)に代入して弁体回転モーメントを求めた。速度勾配は図に示す各流速ベクトルから1/7乗則により求め、速度勾配を反時計周りを正として計算を行った。その結果、呼び径80の場合、式(3)より下記の回転モーメントの値が得られた。

$$M = \int_{\theta=0}^{2\pi}\int_{r=0}^{R} \mu\frac{dV}{dL} \bullet r \bullet rd\theta \bullet dr / \cos\alpha = 2.25\times10^{-4} N \bullet m \qquad (4)$$

M:回転モーメント　　V:ある位置での流速
θ:ある位置での角度　　L:弁体とある流れとの距離
R:0.0425m　　μ:1.002×10 Pa·s(水温20℃のとき)
α:16°

４．４初動弁体回転モーメントの測定

数値解析結果と式(4)から弁体回転モーメントを求めたが、式(4)の値と比較するために実際に

弁体に作用する回転モーメントを計測した。弁体を回転させる初動モーメントの測定前に、弁体に作用する流体力の測定を行い、弁体は弁棒に5.83 kgfの力で押しつけられていることが解った。

一方、弁体と弁棒との間には摩擦により回転を止める力が作用している。このために弁体が回転するには、この摩擦力による制止モーメント以上の回転モーメントが作用する必要がある。そこで、初動モーメントの計測を行った。約5.8kgfの力を弁体に作用させて実験を行った結果、平均0.026 N・m(60gf×44mm=0.0258N・m)のモーメントが作用したときに弁体が回転し始めた。このことから弁体が回転するには、弁体に0.026N・m以上の回転モーメントが作用している必要があると考えられる。

４．５弁体回転モーメントの測定

弁体に作用している回転モーメントは、小さいと考えられることから、図１０に示すポリアセテート製の弁棒を用いて計測を行った。図１１は、弁体回転モーメントの計測結果である。図には、配管内平均流速1m/s～3m/sをパラメータに採り示してある。点線は初動回転モーメント0.026N・mを示している。弁体の全開は27mmであり、全開時の回転モーメントと初動モーメントを比較してみると、回転モーメントは配管内平均流速3m/sの時に初動モーメントより小さい値が計測されている。初動モーメントは重りにより静止状態から弁体が回転し始める時の値であるが、弁体回転モーメントは、弁体に激しい水流が当たり振動により回転モーメントが初動モーメント以下でも弁体が回転するものと考えられる。

図１０　ポリアセテート弁棒

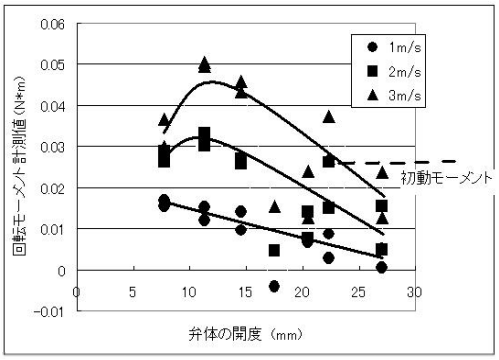

図１１　回転モーメント値と弁体開度の関係

４．６計測値と計算値の比較

弁体回転モーメント計測値と式(4)から得られた計算値を比較すると、実験による計測値の平均約0.018N・m(流速3m/s)の値に対して、式(4)から得られた計算値2.25×10^{-4}N・mとは、かなり開きがある。これは、式(4)の速度勾配であるdV/dLの採り方によると考えられる。つまり、玉形弁の場合、弁体に衝突する流れであるため境界層が極めて薄くなっており、その結果、dV/dLが上述の値より大幅に大きくなっているものと推測される。言い換えれば、水流の持つ大きな水平方向運動量が、極めて薄い壁近傍境界層を乱流混合により輸送され、弁体を回転させるに十分なモーメントを生んだものと考えられる。今後、この推測を実験で確認し、また速度勾配等を考慮して弁体回転モーメントを求める一般式を完成させたいと考えている。

５．まとめ

実験では、エルボを含む配管系において軽量化されたアルミ製弁体で一定方向に弁体が回転することを実証することができた。また、流速3m/sで弁体初動回転モーメントの0.026N・mと弁体回転モーメント0.018N・mの関係も明らかにした。今後、弁体脱落事故を防止するには、実際の青銅製弁体での弁体回転のメカニズムと弁とエルボ間の距離を明らかにする必要があると考える。

参考文献

(1)前田持、「配管設計とバルブのトラブル対策②」、配管技術11月号、(1998)、pp.50-56