大形弁の損失係数について (第2報：バタフライ弁のディスク厚， 形状の影響)*

石川 哲司**・山下 孝治***

Loss Coefficient of Large Bore Valves
(2nd Report: Effect of Disc Thickness and Shape for Butterfly Valves)

By Tetsuji Ishikawa, Takaharu Yamashita

On the former report, loss coefficients of various type valves of 200 mm bore were compared and discussed. In the case of butterfly valve, loss coefficients are mainly affected by valve bore, disc shape and disc thickness ratio for valve bore. In this report, the effects of disc thickness and disc shape on the loss coefficients for 200 mm bore butterfly valves are investigated and the effect of opening ratio on the coefficient at partial open and cavitation points are discussed. At valve full open, the coefficients increase according to the increase of disc thickness, but change is irregular by the shape effect. As per disc shape, the coefficient with spindle shape disc is 40% smaller than that with projection type disc having same thickness. At partial open, the coefficients are put in order by the opening ratio.

によって実験調査を行ったので報告する。

1. ま え が き

大形弁の損失係数については、さきにJISF及びJISBの200mm玉形弁及び仕切弁ならびに200mm水道用バタフライ弁について比較検討を行い、弁の形式による損失係数の差、弁開度に対する損失係数の変化傾向などを検討し報告した¹⁾。

この実験の際用いたバタフライ弁は水道用のもので、一般に船用として用いられているものとはディスク形状、ディスク厚が異なり、損失係数も異なるものと予想される。

バタフライ弁の損失係数に影響する因子の大きなものとしては、口径、ディスク形状、ディスク厚の口径に対する比が考えられる。このうちディスク厚の口径に対する比は、構造上小口径のものほど大きくなりがちである。この比が損失係数にどの程度影響するかについては、損失係数がほぼこの比に等しいと述べた文献^{2),3)}があるが、前報の計測結果はこれをはるかに上まわった結果を示した。よって同一口径、同一形状のもとでディスク厚(開口比)が損失係数に及ぼす影響を調査するとともに、ディスク形状の影響も比較するため前報¹⁾と同じ装置を用い、前回使用のものを含めた200mm各種バタフライ弁

2. 実験装置及び方法

2.1 計測装置 計測装置は東京商船大学運航性能実験水槽に付属する200mm管路抵抗計測装置で、供試弁直後のアクリル樹脂製透視管をとりやめ鋼管製短管に取換えたほかは、前回の実験で使用したものと同じものである。今回新たに使用した供試弁がウエハ形で、弁の取付には管側のフランジ同志を締付けねばならず、樹脂製のフランジでは接合部損傷のおそれがあるため、透視管は取止めた。装置の概略配置を図1に示す。装置の説明は前報に詳しく述べてあるので、ここでは簡単に要点だけを述べておく。ポンプ(7)で汲上げた水は、一旦ヘッドタンク(8)に上げた後、入口弁(2)、伸縮接手(5)、整流格子(6)を経て供試弁(1)に至り、ベンチュリ(4)、出口弁(3)を通して水槽内に戻る。ヘッドタンク上位水面から計測管系中心までの静水頭は11.75mである。ベンチュリ及び供試弁前後の差圧は水銀マンメータにより、その他の管内静圧は、弁入口及び出口に対する差圧の形で水柱マンメータにより計測した。これらの圧力取出口の配置を図2に示す。ただし計測点10, 11は弁出口に近すぎて静圧が不安定なため、計測はこの点を省いて行った。

流量計算式及び損失係数の計算式も前報¹⁾と同じで、次のとおりである。

* 原稿受付 昭和59年7月4日

昭和59年春季学術講演(昭和59年5月23日)

** 正会員 流山市平和台4-19-5

*** 東京商船大学(東京都江東区越中島2-1-6)

図1 計測装置概略配置

区 間	距 離	3 - 4	400	6 - 7	200	10 - 11	100	13 - 14	200	16 - 17	400	19 - 20	1800
1 - 2	2100	4 - 5	400	7 - 8	400	11 - 12	200	14 - 15	200	17 - 18	400	20 - 21	2250
2 - 3	800	5 - 6	200	8 - 9	200	12 - 13	200	15 - 16	200	18 - 19	800	21 - 22	2500

図2 圧力取出口配置

$$Q = 0.2378 \sqrt{H_g} \quad (1)$$

Q : 流量 m^3/s

H_g : ベンチュリー計水銀マノメータ差圧 $\text{m}H_g$

$$\zeta = \frac{\Delta h_v \times 2g}{u_v^2} \quad (2)$$

Δh_v : 弁入口出口の差圧 mAq

g : 重力加速度 m/s^2

u_v : 弁入口流速 m/s

管系圧力降下曲線より Δh_v を求める方法も前報と同様である。

弁入口流速の流速算出基礎として弁の呼び径 200mm をとり、式(1)(2)を変形すると次のように簡単化される。

$$\zeta = \frac{3.423 \times 10^{-4} \Delta h_v}{H_g}$$

2.2 計測方法 次のとおり前回とはほぼ同様の方法を用いた。

(1) 弁開度を一定として流速を 4.0m/s から 1.5m/s まで6段階に変える。ただし弁開度 40° , 30° については、

流速の大きい範囲で弁入口出口の差圧が水銀マノメータの計測範囲を越えるので、 1.0m/s を追加し、高速部分については計測できる範囲までとする。

(2) 弁開度は全開 90° から 30° まで 10° ごととし、そのほかに半開の 45° を加える。開度指示板のないウエハ形弁についてはあらかじめ駆動装置の遊びを計測しておき、ハンドル回転角により弁開度をきめる。

(3) ベンチュリ計を含めマノメータの読みは写真による同時計測とする。

2.3 供試弁 今回比較のため使用したバタフライ弁は6個で、その内訳を表1に示す。V1は前回の実験で使用した水道用バタフライ弁(中心形)であり、V2は偏心形で製造所の標準品、V3からV6までの4個は中心形で、弁箱は同形としてディスク厚のみ変えたものである。V3はほぼ製造所標準のもの、他は約 10mm づつ厚さを変えてある。これらディスク断面形状を図3に示したが、図で見る如くディスク厚の変更を弁棒取付ボス部の峰の高さを変えることにより行った。ディスク厚の影響比較実験であるから、本来ならば同じ弁箱を使用し

表1 供試弁一覧

弁番号	形 式	呼び口径mm	ディスク厚mm	弁座径mm
V-1	水道用フランジ付バタフライ弁	200	70	200
V-2	偏心形バタフライ弁(ウエハ形)	200	70	180
V-3	中心形バタフライ弁(ウエハ形)	200	47	197.1
V-4	同 上	200	58	197.1
V-5	同 上	200	70	197.1
V-6	同 上	200	80	197.1

図3 ディスク断面形状

てディスクのみ取換えるべきであるが、弁の構造上簡単に取換えができないので、それぞれ同形の別の弁箱とした。したがって厳密に言えば、計測値にはディスクの差によるものの外に、弁箱の製作誤差によるものも含まれることになるが、弁箱内側を形成するシートリングは金型成形のゴムであり、その差は計測誤差の範囲内で無視し得るものと考えられる。

V1及びV2はそれぞれディスク形状の差による影響比較、中心形と偏心形の比較のため使用した。

3. 計測結果及び考察

3.1 流速及び開度の影響 各弁の全開から30°までの損失係数 ζ をレイノルズ数に対して図示すると図4～図9のとおりである。レイノルズ数 $Re = ud/\nu$ において d には弁の呼び径を用い、 ν には機械工学便覧²⁾から実測水温に対する値を求めて使用した。レイノルズ数の増加とともに ζ の値は幾分低下する傾向が、前報¹⁾と同じV1のみならずすべての弁に出ているが、その割合はレイノルズ数 3×10^5 から 8×10^5 の間で、弁によりまた弁開度によりほとんどが3%から12%であるものの、それ以上のものや0%に近いものも一二あり、特定し難いことと、数値的に差も少ないことで開度ごとに算術平均をとってその開度の損失係数とした。ただ流量の少ない所では誤差が大きくなるので、計測数の少ない30°以外は最少流量における値は平均値から除いた。

各弁の弁開度に対する損失係数を図示したものが図10である。ただ弁V6については、全開を除き図9の値を3°開度の多い方にずらせてプロットしてある。開口面

図4 各開度における損失係数, V1

図5 各開度における損失係数, V2

図6 各開度における損失係数, V3

図7 各開度における損失係数, V4

図8 各開度における損失係数, V5

図9 各開度における損失係数, V6

図10 各弁の開度に対する損失係数

積と開度の関係をV3～V6について示したものが図11であるが、この図で見る如く、50°以下ではディスク厚の影響は開口面積には表われない。したがってV3～V6の損失係数もこの範囲ではほぼ同一であるはずであるが、V6のみそのままプロットすると開度で約3°のずれを生じた。この値は丁度ハンドルの遊び120°(歯車比40)に相当するので、開度をハンドル回転できめるにあたってこの遊び分をとり忘れたものと推定し、3°ずらせたものである。

図10で示されるように、ディスク厚が増すと損失係数の最小値は全開よりも幾分絞ったところにくる。ディスク厚の大きい方が全開時との差が大きく、且最小値を示す開度も小さくなる。図11に示されるように、ディスク厚のためある角度以上弁を開いても、投影開口面積はほとんど大きくならないことと、ディスク厚を与えるためにつけた突起が水流に与えた影響によるものと考えられる。

図 11 開度に対する投影開口面積

3.2 ディスク厚による影響 同じ形の弁 V3 から V6 までについて、全開から 60° までの損失係数とディスク厚の関係を図示したものが図 12 である。全開時にはディスク厚が増すにつれて ζ は増加するが、ディスク厚と口径の比の値よりはるかに大きな値を示した。またディスク厚 80mm の場合厚みの増した割には ζ の増加が少ないが、これは厚み以外に ζ に影響を与える因子が存在することを示しており、図 3 で示したようなディスク形状で、ディスク厚の増加をディスク中央ボス部の峰の高さのみで調整したための、水流変化による影響と考えられる。

3.3 開口比の影響 弁 V3～V6 について全開から 30° までの ζ の値を弁開度による開口比(投影開口面積と弁座面積との比)に対して図示すると図 13 となる。弁開度 60° 以下すなわちディスク厚が開口面積に影響しな

図 13 開口比に対する損失係数

図 12 ディスク厚と損失係数

い範囲では、 ζ は開口比の 2.5 乗に反比例し、60° を越えるとディスク厚による流れの影響のためか点が幾分散らばり、開口比だけでは整理できないが、ほぼ開口比の 4 乗に反比例する形となっている。

3.4 形状による影響 ディスク厚が同じ 70mm で、ディスク形状の異なる弁 V1, V2 及び V5 について全開時の損失係数を図 10 によって比較すると、V1 が最も小さく、V2 がこれに次ぎ、V5 が最も大きい。同じ中心形でありながら V1 の ζ 値は V5 の約 60% であって、ディスク厚 58mm の弁 V4 とほぼ同じである。V1 のディスク断面形状は図 3 で示すように紡錘形であり、V3～V6 の断面形状に比べ水流の乱れが少ないためと考えられ、ディスク形状は水流に対してできるだけ突起の少ない形

とすべきことがわかる。その意味で偏心形は当然中心形より損失係数が大きくなるはずと考えられるが、V2の ζ 値はV1とV5の中間の値となっている。片側に突起が全然ないためであろう。ただし弁を絞った場合V2は ζ の変化が少なく、 40° 以下では他の弁に比べて最も小さな値を示す。

本実験の中心形ディスク形状を図3に点線で示したような形にしたら上記の傾向は異なったものとなっていたと思われる。

3.5 キャビテーション 弁V1はフランジ形なので、この弁のみ透視管をつけてキャビテーションについて観察し、計測データとの対比を行った。管内流速4m/sのとき 50° まで絞ると、明らかに気泡の発生が観察され、

図14 管内圧力分布曲線

図15 各弁出口圧力降下と開度

かつキャビテーション音が大きくなる。供試弁前後の管内静圧分布は図14の如く玉形弁の場合とは幾分異なった傾向を示し、弁通過後の静圧が低く、約12m下流で回復する。この圧力低下がキャビテーションに関係あるものと考え、図14で示す Δh_0 の値を流速4m/sの場合について、弁開度に対して図示したものが図15である。V1では 50° からこの値が急増しており、透視管の観察結果と一致する。この時水温 19.6°C 、計測点12の静水頭5.3mである。よって透視管のつけられなかったV2~V6についてこの値を見ると、V2では 60° から、V3でも 60° から増加しており、このあたりがキャビテーションの発生点と考えられるが、V4, V5, V6ではこの変化が顕著でない。ただV2及びV6では全開時にもこの値が相当高く、この流速ではディスク突起のため全開時でもキャビテーションを起していることが考えられる。なお各弁共水温は 20° 前後で最低 19.6°C 、最高 20.7°C であり、開度 60° のときの計測点12の静水頭はV1が9.0m、V2が7.4mのほかはいずれも8.4~8.6mの範囲である。

4. む す び

バタフライ弁のディスク厚、ディスク形状及び開口比の損失係数に与える影響を調査し、ある程度の数値が得られた。損失係数を小さくするためには、ディスクの厚さのみでなく、ディスクの断面形状を考慮する必要がある。出来るだけ突起物を作らないことが必要である。この外に口径も影響するが設備の関係で口径による差は実験できなかった。ディスク形状を突起の少ないものにした場合の厚みの影響比較を含めて今後の研究を望みたい。終りに供試弁について便宜をはかって頂いた中北製作所及び計測とデータ整理にたずさわった東京商船大学学生北山優、松永伸宏の両君に謝意を表する。

文 献

- 1) 石川・藤田・山下、船機誌、19-1(昭59-1)40
- 2) 日本機械学会、機械工学便覧改訂6版(昭52-7)8-1, 8-18
- 3) 日本機械学会、管路ダクトの流体抵抗、(昭54-1)66