

キャビテーション抑制形バタフライ弁の特性比較

岩崎正博*

Studies on Low-Erosion Butterfly-Valves, Especially with Respect
to a Valve to Suppress Erosive Vortex Cavitation

Masahiro Iwasaki

For improving the reliability of butterfly valves, it is absolutely important to prevent fatal cavitation erosion and to control the flow rates precisely. In our previous reports, the erosive vortex cavitation, which takes place within the limited part of the high shear region, plays an important role in the erosion. This fact suggests us a useful method to overcome against erosion. Up to date, many types of modified valves have been proposed, in which very singular shaped buffers are attached to the orifice and the nozzle side of the valve disc, although their useful results are unavailable. In this present, therefore, the erosive shock-pressure-distributions on the inner pipe-wall-surface downstream the valve disc and the corresponding cavitation-flow-pattern are precisely measured in the typical bounded flow around butterfly valves by means of pressure-sensitive films and high speed photography. It is found that the erosive pulses and the corresponding occurring range in the shear regions are significantly attenuated by introducing simple buffers.

1. 緒言

バタフライ弁は、簡単な構造、優れた制御特性、低コストの三点が見直されて、上水道などの巨大管路網中の流量制御弁として多用されているので、このような弁の大形化の実現に関連して、キャビテーション壊食が発生しない弁の開発と、壊食の効果的抑制法の確立が工業界で要請されている。そして、その実現には、壊食にかかわるキャビテーション衝撃圧とキャビテーション流れパターンの詳細を把握した上で、低壊食弁の開発を進める必要がある。

キャビテーションは、一般に、それぞれ独特の様相、発生領域を有する各種のもの^{1)~3)}より成り、

それぞれが特徴的な壊食圧を発生し、壊食箇所も著しく狭い範囲に限定されている^{4)~7)}。また、弁まわりの流れのパターンの可視化⁸⁾より、オリフィス側下流に発生する特異渦キャビテーション^{9),10)}が壊食の主因であり、発生領域もオリフィス噴流により形成される高せん断領域に限定されていることが知られている。したがって、低壊食弁の開発に際しては、この高せん断領域をいかに弱めるか、すなわち、弁体形状をどの様に改良するかが重要課題となるが、これまでのところこのような流体力学的基礎を踏まえた研究はないようである。

よって本報では、低壊食弁の開発を目的として、まず、前報⁸⁾の弁体 (Model -1) のオリフィス側に高せん断流れ抑制用の凸部を設けた弁体 (Model -

*バルブ事業部 バルブ設計部

2) について、壊食に主としてかかわる特異渦キャピテーションの様相、管壁面に作用するキャピテーション衝撃圧分布⁸⁾を、瞬間写真と感圧紙により測定し、改良の有効性を詳細に検討する。

2. 実験装置および方法

実験には前報⁸⁾と同じ回流式試験水槽を用いた。像の歪みを少なくして弁体まわりの内部流れを詳細に観察するために、280 mm × 280 mm の正方形断面の長さ400 mm の測定部は、アクリル樹脂製とした。また、壊食にかかわる弁体後流管内壁面上の衝撃圧分布を測定する際には、図1に示す測定部を用いた。厚さ90 μm のポリプロピレン製袋に真空包装された感圧紙は、図1のスリーブの内面に接着した後、測定部に挿入された。感圧紙(測定圧範囲2.5~10 MPa)のキャピテーションへの露出時間は、衝撃圧分布がほとんど変化しなくなる20分間であり、衝撃圧値は専用の濃度計(直径2 mm の円内の平均値を指示)と動的検定曲線⁴⁾より決定した。また、キャピテーションの様相は、測定部の上方と側方の二方向から、せん光時間1 μs のクセノンランプを用いて同時観察している。

図2に今回使用した二種の弁体の形状を示す。Model-1は前報⁸⁾と同様の実用弁の1/4模型であり、Model-2は高せん断流れの発達を抑制するためModel-1のオリフィス側に凸部を設けたものであ

る。ただし、実用弁には必ずある弁座は、どちらの試験弁体にも設けていない。

弁開度 α_v は、Model-1試験において特異渦キャピテーションが顕著に発生する40 deg 一定とした。また、壊食に対する複雑な流速の影響を避けるために、一定流速とし、上流側静圧を変えることによりキャピテーション係数 $\sigma = (P_2 - P_v) / (P_1 - P_2)$ を変えた。ここでは、上流側流速 $U_1 = 4.0 \text{ m/s}$ 一定とし、Model-1において特異渦キャピテーションがはっきりと認められる状態と、チョーキング開始状態の二点について両モデルの衝撃圧試験結果を比較した。表1に試験条件を示す。ここに、 P_1 、 P_2 はそれぞれ弁体の2 D (Dは測定部内径) 上流の◎点と8 D下流の◎点での静圧、 P_v は水の飽和蒸気圧である。

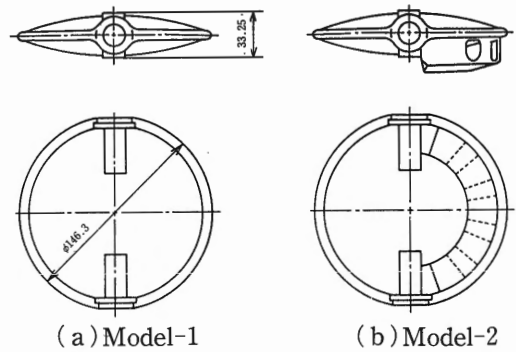


図2 供試弁体

Fig. 2 Test butterfly discs

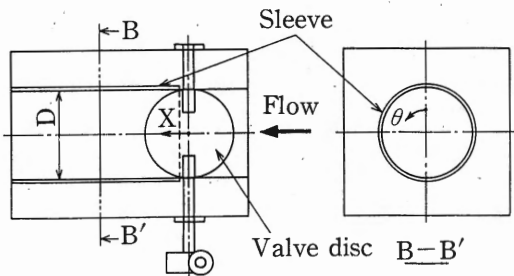


図1 測定部断面図(感圧紙用)

Fig. 1 Test section for measuring by pressure-sensitive film

表1 試験条件

Table 1 Test conditions

		Model-1		Model-2	
Cavitation number	σ	1.5	1.0	1.5	1.0
Upstream static pressure	P_1 kPa	114	91	158	131
Downstream static pressure	P_2 kPa	69	46	96	67

3. 実験結果

初めに、両モデルの基本流量特性をみでみる。
 図3には弁開度 α_v と流量係数 C_d の関係を示す。
 ここで、流量係数は次式のように定義している。

$$C_d = U_1 / \{2(P_1 - P_2) / \rho + U_1^2\}^{1/2}$$

低 α_v においては、Model-1に比し Model-2の C_d は約10%低い。高 α_v になると両者の C_d はほぼ同じ値となる。すなわち、凸部の効果は流れに凸部が直接露出される程度に依存している。

図4、5には、感圧紙法により得られた感圧模様、衝撃圧分布およびキャビテーションの様相を示す。Model-1においては、高せん断領域が大きな衝撃圧を示す領域として現れ、キャビテーションの発達 ($\sigma = 1.0$) とともに衝撃圧も大きくなる。しかしながら、Model-2においては、若干斑点状模様も認められるが、高せん断領域の衝撃圧はかなり低く、特に、 $\sigma = 1.5$ ではほとんど検出されない。したがって、ここで採用した弁体は低壊食性であると言える。

次に、キャビテーションの様相をみでみる。Model-1においては、高せん断領域に特異渦キャビテーションが明りように認められる(特に $\sigma = 1.0$ ではそのサイズが大きい)が、Model-2では、同一 σ においてもサイズは小となり、壁面に直接アタチする割合も少なくなり、前述の衝撃圧の低下と良く符号している。

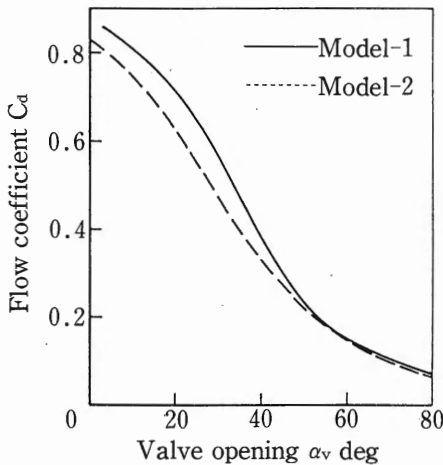
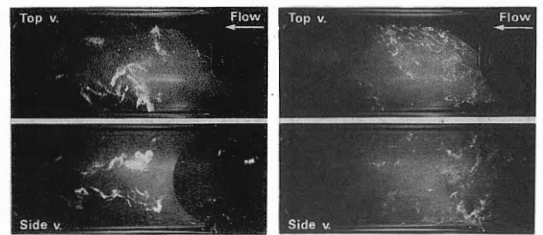
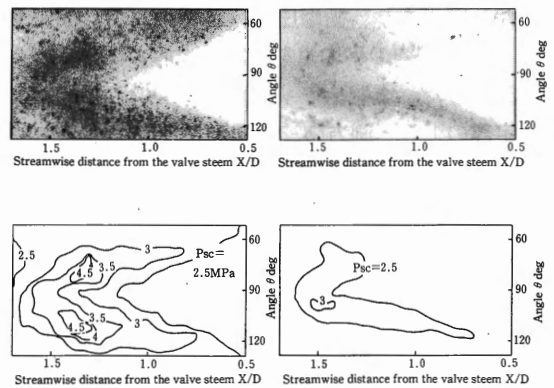


図3 流量係数 C_d と弁開度 α_v の関係

Fig. 3 Relation between the flow coefficient C_d and the valve opening α_v

要するに、通常のバタフライ弁の弁体オリフィス側に簡単な凸部を設けることにより、高せん断流れの発達を効果的に抑制し、壊食性特異渦キャビテーションのサイズが小さくなる結果、管内壁面上における壊食の発生の危険性を著しく減少し得ることが判明した。

最後に、凸部を設けたことにより弁まわりの流れパターンがどの様に変化するかをスーパーキャビテーションの様相を介して調べてみる(図6参照)。Model-1の場合には、オリフィス側弁体前縁よりノズル側スーパーキャビテーション空洞を突き破るほど強烈なオリフィス噴流が発達しているが、Model-2においては、この噴流の発達がかなり抑制される結果、特異渦キャビテーションの発生基盤である高せん断流れが効果的に弱められていることがわかる。



(a) Model-1

(b) Model-2

図4 感圧模様、衝撃圧分布およびキャビテーションの様相 ($\sigma = 1.5$)

Fig. 4 Pressure-pulse-maps, the corresponding pressure distributions and cavitation aspects ($\sigma = 1.5$)

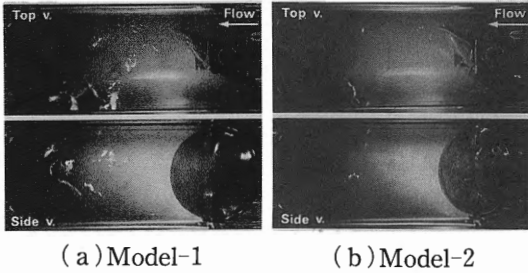
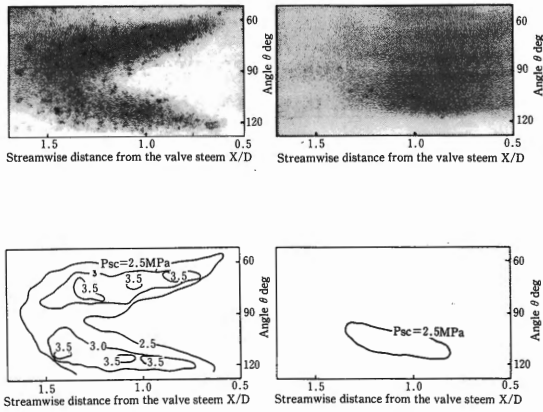


図5 感圧模様、衝撃圧分布およびキャビテーションの様相 ($\sigma = 1.0$)

Fig. 5 Pressure-pulse-maps, the corresponding pressure distributions and cavitation aspects ($\sigma = 1.0$)

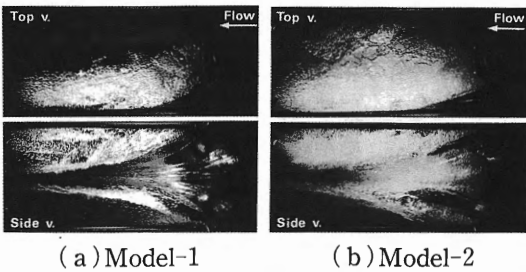


図6 スーパーキャビテーション流れの様相

Fig. 6 Appearances of Supercavitating flows

4. 結言

得られた結果をまとめると次のようになる。

- (1) 通常のパタフライ弁の弁体オリフィス側に簡単な凸部を設けることにより、壊食性の特異渦キャビテーションの発生基盤である高せん断流れを効果的に抑制し得る。すなわち、ここに低壊食弁の開発の可能性が生まれる。
- (2) オリフィス側に設けた凸部により、大きなサイズの壊食性特異渦キャビテーションの発生は抑制され、高せん断領域内の渦の寸法が細分化される。

終わりに臨み、本研究に対して御指導いただきました東北大学流体科学研究所大場利三郎先生と伊藤幸雄先生に感謝の意を表します。

文献：

- 1) Holl, J. W. and Carroll, J. A., Trans. ASME, J. Fluids Eng., 103 (1981), 415.
- 2) 大場・伊藤、機論、45-398, B (1979), 1428.
- 3) 伊藤・ほか3名、機論、54-500, B (1988), 763.
- 4) 大場・ほか7名、機論、53-487, B (1987), 671.
- 5) Soyama, H., ほか5名, Proc. 15 th Int. Symp. of IAHR, Belgrade, (1990-9), H 4.
- 6) Selim, S. M. A. and Hutton, S. P., Proc. 2 nd Int. Conf. on Cavi., I. Mech. E., Edinburgh, (1983-8), 41.
- 7) 大場・ほか5名、ターボ機械、15-12 (1987), 731.
- 8) 岩崎、栗本技報、No.23 (1990), 44.
- 9) 伊藤・ほか5名、機論、54-508, B (1988), 3317.
- 10) 岩崎、栗本技報、No.21 (1989), 78.

執筆者

岩崎 正博

Masahiro Iwasaki

昭和52年入社

バルブ等の流体機器の設計に従事

