

耐エロージョン性能を向上させたロータリ形調節弁の開発

Development of a rotary control valve that has an improved cavitation erosion resistance

株式会社 山武
ビルシステムカンパニー

野間口 謙雄
Yoshio Nomaguchi

キーワード

調節弁、キャピテーション、エロージョン、圧力回復係数、数値流体解析

熱源まわりオープン系などキャピテーションが発生しやすい環境では、従来キャピテーションエロージョンの発生しにくいグローブ弁が使用されてきたが、グローブ弁は高い操作力が必要となるなど大型・高コストな製品となりやすい。一方ロータリ弁は小型軽量で締め切り性能に優れた調節弁であるが、その構造上、グローブ弁と比べてキャピテーションエロージョンが発生しやすい。そこで今回、キャピテーションモデルによるCFD及び実流試験により耐エロージョン性能に優れたロータリ形調節弁を開発したので報告する。

Globe valves have been commonly used in environments that contain heat sources or open systems, where cavitations may easily occur; however, they tend to be large, heavy, and expensive products since handling them requires much effort. On the other hand, rotary valves are control valves that are smaller and lighter in weight and have a superior shut-off performance. However, when compared with globe valves, they tend to cause cavitation erosion due to their structure. To fix the problem, we have developed a new rotary-type control valve, featuring superior erosion-resistant performance through CFD using cavitation models and real flow tests.

1. はじめに

一般的なビルでは、各フロア、各階にある空調機に冷温水を流し、冷風または温風を作ることによって空調を行う。この各空調機に冷温水を送るときの送水圧力を一定にするために、通常ポンプバイパス弁が使われる(図1)。ポンプバイパス弁にはポンプ揚程分の高い差圧が負荷されるため、バルブ内部の急激な圧力低下によりキャピテーションが発生し、キャピテーションが崩壊するときの衝撃により、バルブ内部またはその下流配管内部が損傷するというキャピテーションエロージョンが発生することがある⁽¹⁾。そのため、このようなポンプバイパス弁などキャピテーションエロージョンが発生しやすい環境では、これまでグローブ弁タイプの調節弁(図2)が使われてきた。

しかしグローブ弁は、高い締め切り性能を要求される場合に、大きな操作力を必要とするため、大型・高コストな製品となりやすい。

一方、ロータリ形の調節弁(図3)は、小型軽量、締め切り性能

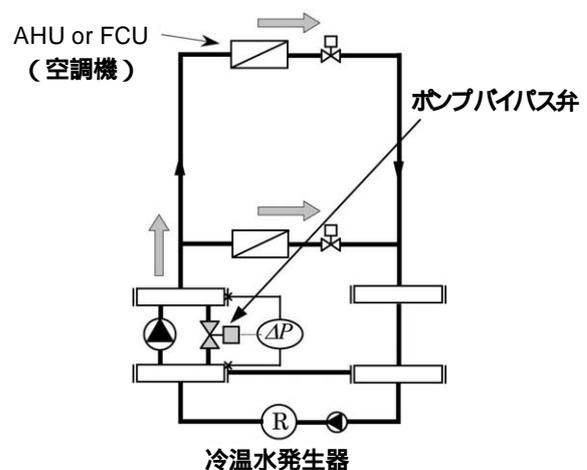


図1 一般的な空調用配管レイアウト

に優れるなどグローブ弁と比べて有利な点が多いが、構造上キャピテーションエロージョンが発生しやすい。ロータリ弁をポン

バイパス弁などで使用するにはグローブ弁と同等レベルの耐キャビテーションエロージョン性能が必要となる。

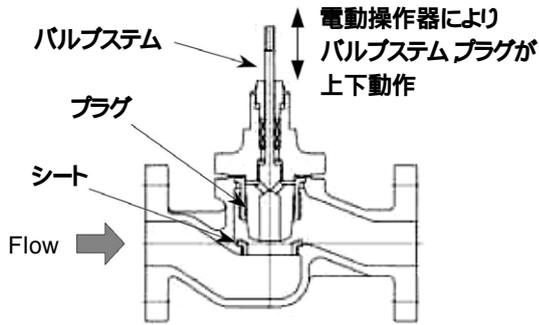


図2 グローブ弁の構造

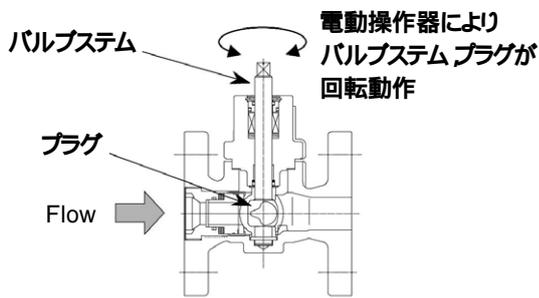


図3 ロータリ弁の構造

そこで今回CFD(Computational Fluid Dynamics 数値流体解析)及び実流試験により耐キャビテーションエロージョン性能に優れたロータリ形調節弁を開発したので報告する。

2 製品概要と仕様

図4に製品概要を示す。また本製品の概略仕様を表1に示す。

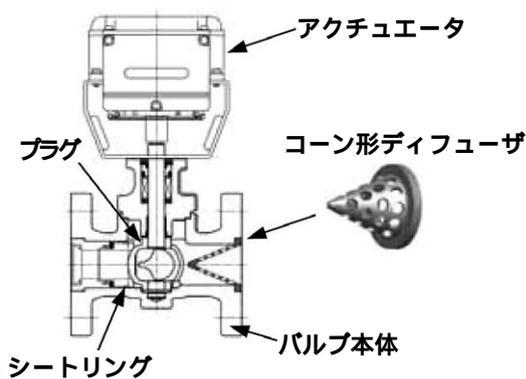


図4 コーン付きロータリ弁の構造

表1 概略仕様

項目	仕様
弁形式	電動二方弁 フランジ接続形
電源電圧	AC24V ± 15% 50/60Hz
消費電力	公称135 フィードバックポテンシオメータタイプ: 7VA 公称135 フィードバックポテンシオメータタイプ以外: 8VA
動作時間	63s(50Hz)/53s(60Hz) ± 5s
制御信号	公称135 フィードバックポテンシオメータ 公称135 抵抗入力 DC4 ~ 20mA 入力 DC2 ~ 10V 入力
本体圧力定格	JIS10K(最高使用圧力1.0MPa)
呼び径(Cv値)	15A(Cv2.5) 25A(Cv6.8/10) 40A(Cv16/25) 50A(Cv40) 65A(Cv65) 80A(Cv95)
クローズオフレイティング	1.0MPa
流体温度	0 ~ 175
レンジアビリティ	100:1
弁座漏洩量	定格Cv値の0.01% (15Aは漏洩Cv値が0.0006以下)
適用流体	冷温水・高温水
主要部材質	弁本体:FC200 / SCS13A プラグ:SCS13A コーン:SCS13A シートリング:耐熱PTFE アクチュエータケース:アルミ合金鋳物 アクチュエータカバー:ポリカーボネート樹脂

3 キャビテーション流れのCFD

3-1 解析方法

キャビテーションモデルを用いたCFD(SCRUYU/Tetra V6(株式会社ソフトウェアクレイドル))により気液二相流体の解析を行った。使用した解析モデルを図5に示す。解析モデルは上流側配管、下流側配管を含めたモデルとした。境界条件は入口側圧力 P_1 と出口側圧力 P_2 を与えている。解析対象は従来品である一般的なロータリ弁と今回のコーン付きロータリ弁の2つである。

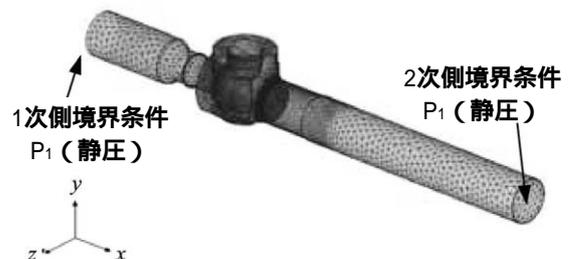


図5 解析モデル

また実際の実流試験時の溶存酸素濃度をもとに決定した、気相の初期質量分率 $Y_0=5 \times 10^{-6}$ を与えて計算を行っている。

3-2 解析結果

図6 図7に相対容量係数 =100%におけるバルブ上下断面の流速コンター図を示す。ここで相対容量係数は任意のバルブ開度における流量の全開時の流量に対する比をあらわす。

計算条件:P₁=0.5 [MPa] P₂=0.25 [MPa]

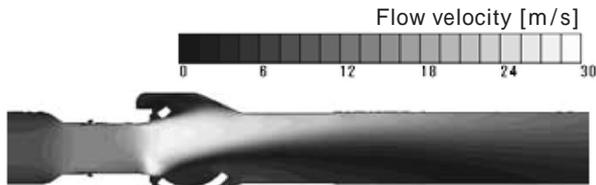


図6 一般的なロータリ弁の流速コンター図



図7 コーン付きロータリ弁の流速コンター図

図6から、一般的なロータリ弁は、プラグとシートリングで形成された弁内絞り部で加速された噴流が下流へそのまま流れるため、圧力回復が遅くキャビテーションが発生しやすい。また発生したキャビテーションがバルブ内壁や下流配管に衝突する時にキャビテーションエロージョンを起こしやすいことが考えられる。

一方 図6と図7の流速コンター図を比較すると、コーン付きロータリ弁は一般的なロータリ弁より先最大流速が小さいことがわかる。そのためコーン付きロータリ弁はキャビテーションが発生しにくいと考えられる。

コーン付きロータリ弁の最大流速が小さいのは、コーンの多孔部分で流れが細分化されることによる圧力損失およびコーンの互いに対向する孔から出た噴流同士がコーン内部で互いに衝突することによって圧力が急回復するためと考えられる。また、流れがコーンとその下流配管の中心で互いに衝突していることからキャビテーション流れが弁本体や下流配管に衝突するのを防いでおり、キャビテーションエロージョンに対しても有利であることが推定できる。

図8 図9に =100%におけるバルブ上下断面のキャビティポイド率のコンター図を示す。ここでキャビティポイド率とは気相の

計算条件:P₁=0.5 [MPa] P₂=0.25 [MPa]

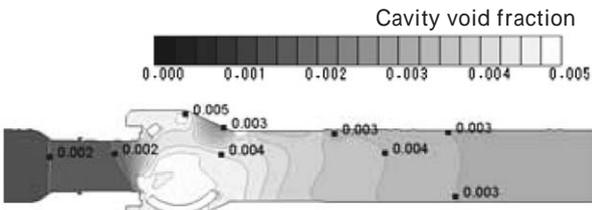


図8 一般的なロータリ弁のキャビティポイド率分布

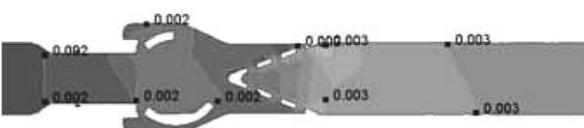


図9 コーン付きロータリ弁のキャビティポイド率分布

体積分率を示す。図9よりコーン付きロータリ弁は図8の一般的なロータリ弁と比べてキャビテーションの発生が少ないことがわかる。

4 液体圧力回復係数FL値の比較

4-1 液体圧力回復係数FL値

FL値(Liquid pressure recovery factor 液体圧力回復係数)は、キャビテーションの発達により差圧を増加させても流量が増えなくなるチョークフロー状態を定義する値であり、そのときの流量の最大値Q_{max}を用いて次式で与えられる⁽²⁾。

$$F_L = \frac{Q_{max}}{N \cdot C_v \sqrt{P_1 - 0.96P_v}} \quad (1)$$

ここでNは定数、C_vはバルブの容量係数、P₁はバルブの入口側圧力、P_vは液体の飽和蒸気圧である。

4-2 CFDによるFL値の比較

CFDによりバルブの前後差圧 Pを変化させたときの流量Qを求め、後述する実流試験と同様にFL値を求めた結果を図10に示す。一般的なロータリ弁と比べてコーン付きロータリ弁のFL値が向上していることがわかる。

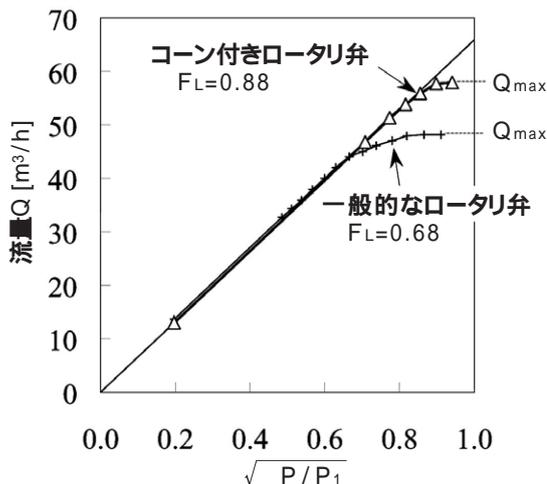


図10 CFDによるFL値の計算結果

4-3 FL値の試験方法

図11にFL値の試験方法の概略を示す。

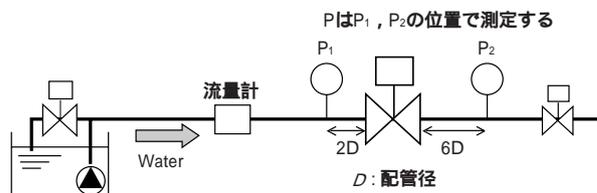


図11 FL値の試験概略図

バルブ上流側圧力P₁=0.9 [MPa](一定)とし、差圧をP=0.8 [MPa]程度から順次90%ずつ減圧し、流量を測定する。減圧する前の流量に比べて減圧後の流量が2%以内となる減圧前の流量をQ_{max}とし、(1)式によりFL値を求めた。

4-4 FL値の実流試験結果

図12 図13にFL値の実流試験結果を示す。ここでFL値が「0.XX以上」の場合、そのFL値は試験設備およびバルブの特性上、測定できる値の最大値を示す⁽²⁾。

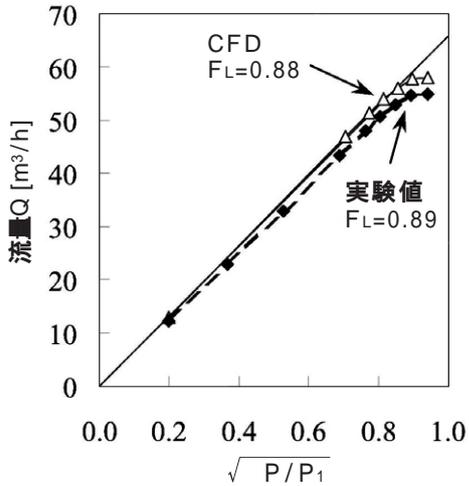


図12 コーン付きロータリ弁におけるFL値のCFD結果と実流試験結果の比較

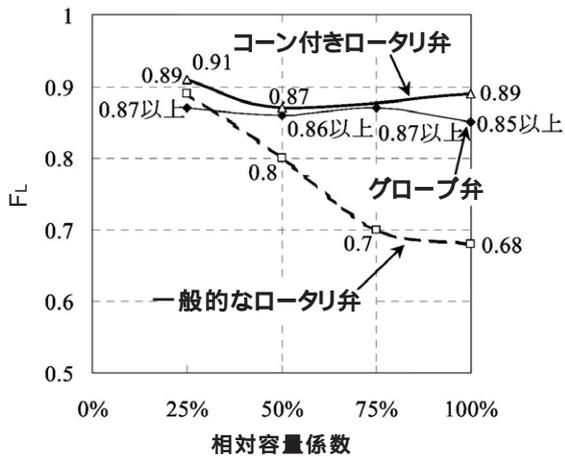


図13 FL値の実流試験結果

図12よりCFDによる計算値と実験結果が良く一致していることが確認できた。また図13よりコーン付きロータリ弁のFL値は一般的なロータリ弁より大きく、グローブ弁とほぼ同等であることが確認できた。

5 実流耐久試験による耐エロージョン性能比較

圧力条件を $P_1=0.5$ [MPa] $P_2=0.1$ [MPa]、バルブ開度を相対容量係数 =25%に固定し、長期間流水させる耐久試験を実施した。試験状況および試験の概略図を図14 図15に示す。また耐久試験後の弁内下流側内壁の様子を図16 図17に示す。一般的なロータリ弁はエロージョンによるザクロ状の損傷が見られるが、コーン付きロータリ弁はエロージョンによる損傷は見られず、エロージョン防止の効果が確認できた。

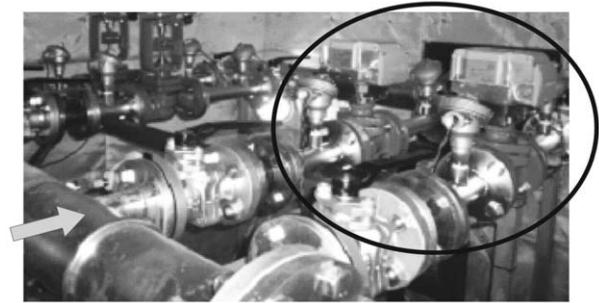


図14 耐久試験状況

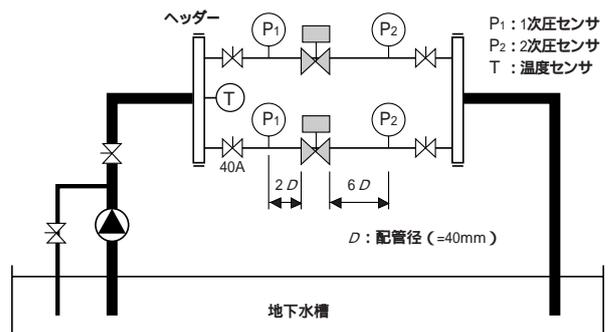
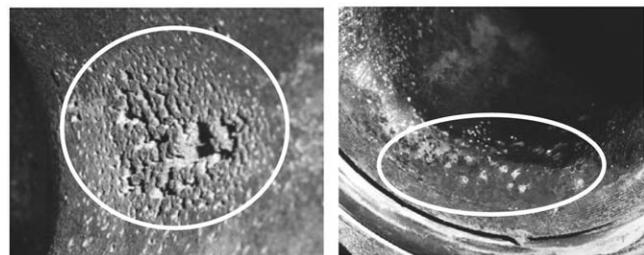
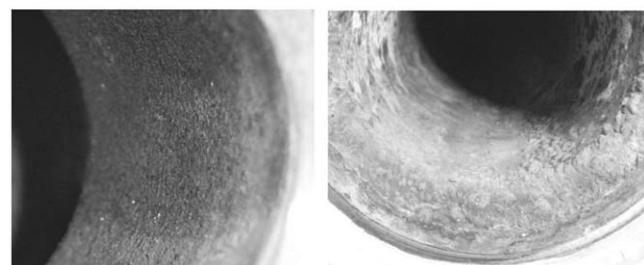


図15 耐久試験概略図



弁下流側 下流配管

図16 一般的なロータリ弁(エロージョン発生あり)



弁下流側 下流配管

図17 コーン付きロータリ弁(エロージョン発生なし)

6 おわりに

- 1) CFDで求めたキャピテーションの分布および F_L 値が実験結果と良く一致しており、キャピテーションモデルによるCFDが非常に有効であることがわかった。その結果、キャピテーションエロージョン性能に優れた最適なロータリ弁構造を実現できた。
- 2) コーン付きロータリ弁において、グローブ弁と同等の圧力回復係数 F_L 値を実現した。
- 3) 実流耐久試験により、コーン付きロータリ弁は一般的なロータリ弁と比べて耐エロージョン性能が大幅に向上しており、一般的なロータリ弁より、高い差圧環境下でも十分使用できることを確認した。

なお、本研究における実流耐久試験を実施するにあたり、多大なご協力をいただきました日本工業大学機械工学科寺島先生に深く感謝の意を表し上げます。

参考文献

- (1) 奥津良之: キャピテーションによる調節弁の損傷事例と技術対応の現状, パルプ技報 No.42, p.66-71 (1999)
- (2) Industrial-process valves - Flow capacity - Test procedures, IEC 60534-2-3 (1997)

著者所属

野間口 謙雄 ビルシステムカンパニー 開発2部

