

建物空調用調節弁の キャビテーション診断技術の開発

Diagnostic Techniques for Cavitation in Building Air-Conditioning System Control Valves

アズビル株式会社
バルブ商品開発部

木下 良介
Ryosuke Kinoshita

アズビル株式会社
バルブ商品開発部

角田 真一
Shinichi Tsunoda

キーワード

キャビテーション, 診断, 調節弁, 空調

空調用冷温水配管に設置されている調節弁でキャビテーションが発生すると、気泡の発生・崩壊に伴う騒音や振動が居住空間に悪影響を及ぼす場合がある。さらに調節弁がその状態で継続的に運用されるとキャビテーションエロージョンによる外部漏れといった重大な不具合につながる場合がある。そのため、空調稼働中の調節弁でキャビテーションを診断できることが望ましい。そこで、本研究では調節弁にキャビテーション診断機能を追加するために、調節弁固有のキャビテーションの特性を考慮したキャビテーション診断技術を開発したので報告する。

When cavitation occurs in control valves installed in hot or cold water pipes in air-conditioning systems, noise and vibration caused by the generation and collapse of air bubbles may negatively affect living areas. If control valves are continuously used in this condition, serious malfunction, such as external leaking, may occur due to cavitation erosion. Hence, it is desirable to diagnose cavitation in control valves while the air-conditioning system is in operation. This paper describes our diagnostic technique for cavitation, which focuses on the characteristics of cavitation within control valves in order to supply the valves with a cavitation diagnostic function.

1. はじめに

オフィスビルや学校など建物空調用の冷温水配管に設置されている調節弁は、開口面積を変化させることで流量や圧力の制御を行う。その際に調節弁前後の圧力が変化し、飽和蒸気圧以下になるとキャビテーションが発生する。キャビテーションが発生すると、騒音や振動が居住空間に悪影響を及ぼす場合があり、さらにこれらの状態で継続的に運用されると、キャビテーションエロージョンによる調節弁や弁下流側配管の損傷に至り、流体が外部に漏れる重大な不具合につながる場合がある。そこで、空調稼働中の調節弁で発生するキャビテーション

の状態を判断できることが望ましい。

本研究では調節弁にキャビテーション診断機能を追加することを目的として、調節弁固有のキャビテーションの特性を考慮したキャビテーション診断方法を考案した。その際に、調節弁に搭載するための技術課題を明確にし、その解決手段を検討した。そして、考案した診断方法を適用して調節弁のキャビテーション診断を実施した結果、キャビテーション診断の可能性を見出した。

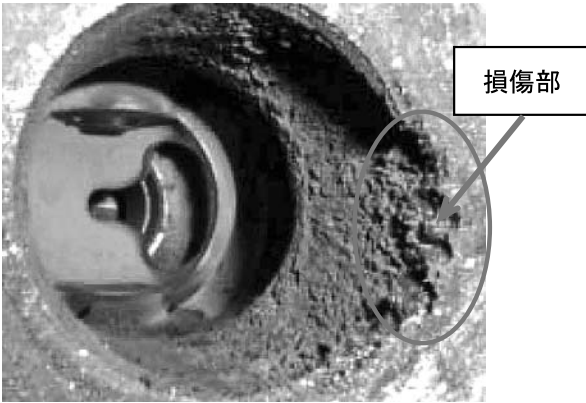


図1. キャビテーションエロージョンによる調節弁の損傷事例 (調節弁下流側)

2. キャビテーション診断方法の検討

2.1 診断方法

調節弁におけるキャビテーション性能の評価方法として、JIS規格ではJIS B2005-8-2 (2008)で規定されている。同規格では弁開度を固定して、調節弁前後の圧力比 X_F と騒音レベルの関係を求める。一般的にその関係は図2のような傾向を示し、傾きの様子からキャビテーションの状態を推定する。ここで、調節弁におけるキャビテーションの状態は、実用的な観点から次の3つに分類されている⁽¹⁾⁽²⁾。

- 初生 X_{Fz} : キャビテーションの発生崩壊により騒音レベルが急激に大きくなる状態
- 臨界 X_{Fcri} : キャビテーションの発生崩壊が定常的に起こる状態
- 閉塞 X_{Fch} : 差圧を高くしても流量が増加しない状態

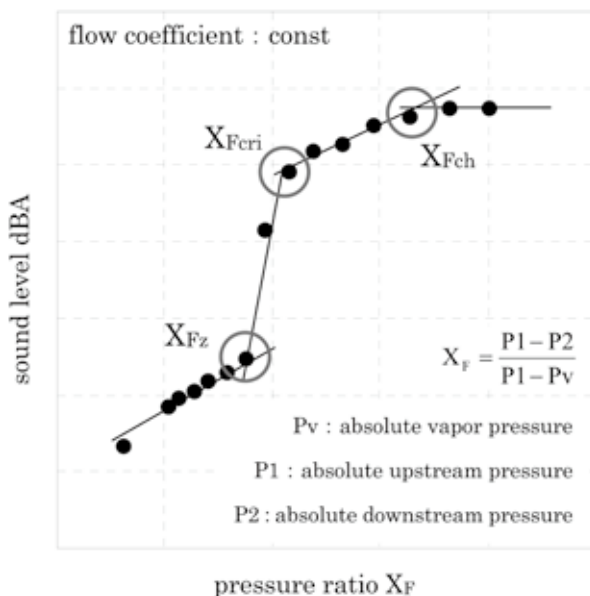


図2. 圧力比 X_F と騒音レベルの関係

本研究では図2の圧力比と騒音レベルの関係を利用してキャビテーションの状態を診断する。調節弁の初生、臨界、閉塞状態での圧力比 X_F は開度ごとに異なるため、その圧力比を開度ごとにあらかじめ求め、調節弁開度と各キャビテーションの状態における X_F のテーブルを作成する。このテーブルを製品に搭載し、調節弁前後の圧力と開度を計測し、テーブルと比較することでキャビテーションの状態を診断する方式を考案した。以降、圧力比テーブル方式と表現する。

2.2 圧力比テーブル方式の技術課題

2.2.1 圧力計測位置

JIS B2005-8-2では調節弁前後の圧力を調節弁から上流 2D、下流 6D (D: 弁の呼び径) の位置で計測することが規定されている。実際の調節弁の設置条件は設置スペースや計装の都合により、必ずしも規格と同等の設置条件になっているわけではない。調節弁と圧力計測位置の間に曲がり管や縮小管などの配管が設置されている場合は、そこでの圧力損失によって圧力比 X_F が変化する。そこで、規格に準じた圧力計測位置で圧力計測を行うとすれば、設置条件ごとに圧力比テーブルが必要となる。したがって、新たに調節弁の設置条件の影響を受けにくい圧力計測方法を考案する必要がある。

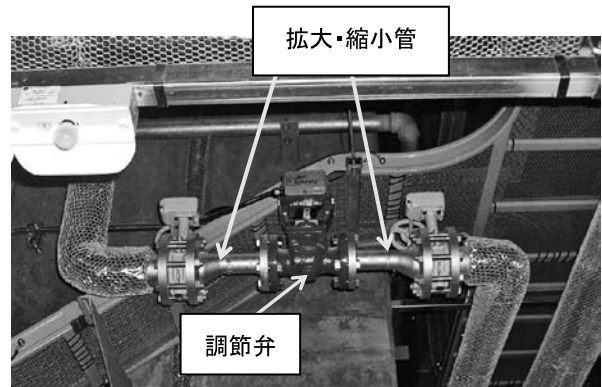


図3. 調節弁の施工例

2.2.2 キャビテーションの状態の推定方法

調節弁の各開度における騒音レベルと X_F の関係を実験により確認すると、弁口径や開度によって騒音レベルの変化が図2のように明確に現れない場合がある。そのため初生、臨界、閉塞の X_F を近似直線から算出できず、圧力比テーブルを作成するのが困難となる。したがって、圧力比テーブルを作成するためにはキャビテーションの状態を弁口径などの条件によらずに推定できる方法を検討する必要がある。

3. 技術課題の検討

3.1 圧力計測位置

調節弁の設置条件の影響を受けない圧力計測方法として、調節弁の絞り部（縮流部）前後の圧力を計測する方法を検討した。この圧力計測方法は図4に示す当社で製品化されている調節弁（製品名: アクティブル™ 電動二方弁流量計制御機能付 FVY51 シリーズ）で絞り部前後の差圧から流量を計測する方法として採用されており、調節弁前後の設置条件の影響を受けずに流量計測ができることが確認されている⁽³⁾。

そこで、この圧力計測位置を適用することで、キャビテーションの状態と縮流部前後の圧力比 X_{Fv} ($= (Pv1 - Pv2) / (Pv1 - Pv)$) の関係が設置条件の影響を受けるかを確認するため圧力比 X_{Fv} と騒音レベルの関係を求めた。図5に実験設備を示す。配管の種類として弁前後に直管、曲がり管、縮小管をそれぞれ設置した。

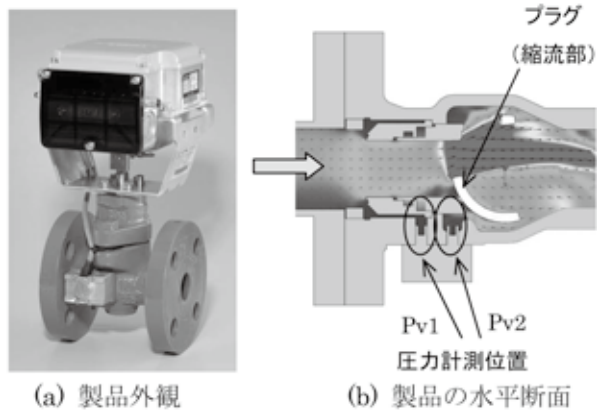


図4. 縮流部前後の圧力計測位置

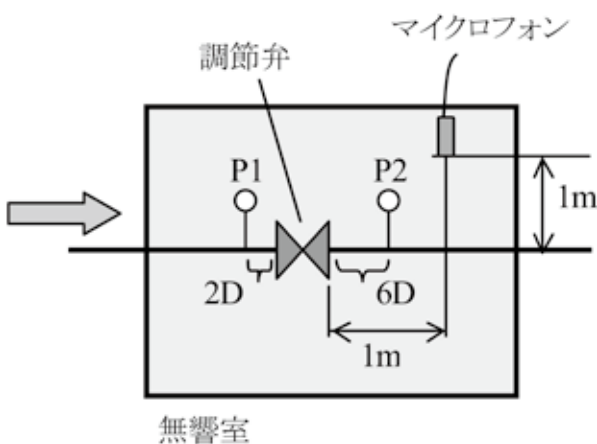


図5. 調節弁の騒音試験環境 (D: 弁の呼び径)

図6 (a) に縮流部前後の圧力比 X_{Fv} と騒音レベルの関係を示す。そして、比較対象として、図6 (b) に調節弁前後の圧力比 X_F と騒音レベルの関係を示す。図6 (a) では調節弁前後の配管の種類によらずキャビテ

ションの状態の圧力比（初生 X_{Fv2} ）はほぼ同じと推定でき、この圧力計測位置が設置条件の影響を受けにくいことがわかる。一方、図6 (b) では配管の種類が異なるとキャビテーションの状態の圧力比（初生 X_{F2} ）が変わることがわかる。

以上のことから、縮流部前後の圧力比を適用することで、調節弁の設置条件の影響を受けず、精度よくキャビテーションを診断できる。

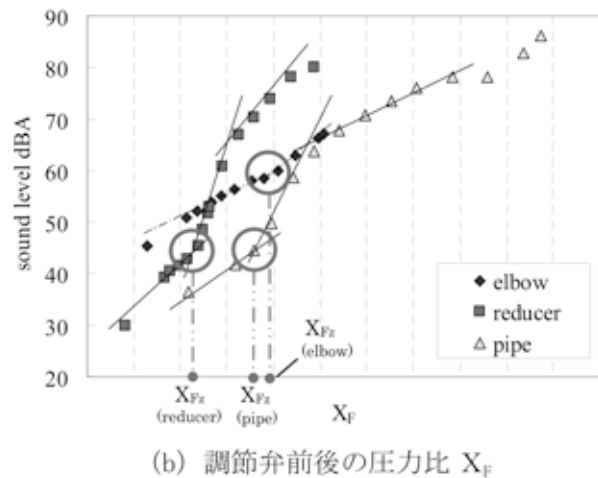
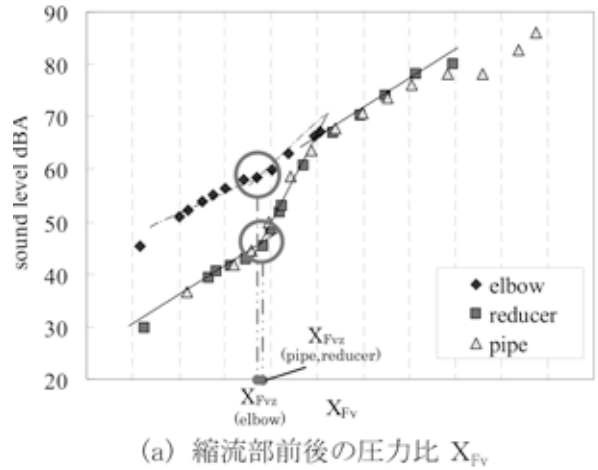


図6. 圧力比 $X_{Fv} \cdot X_F$ と騒音レベルの関係

3.2 キャビテーションの状態の推定方法

キャビテーションの状態の推定に用いる騒音には、キャビテーション騒音と流水音が含まれており、キャビテーションの状態の変化が流水音に隠れて騒音レベルの違いとして現れにくくなる場合がある。

そこで本研究では、キャビテーション騒音の特徴である気泡が崩壊する時の周波数に着目し、騒音の周波数分析法の一つである1/3オクターブバンド分析⁽⁴⁾によりその周波数帯を特定した。そして、圧力比と特定周波数帯の音圧レベルの関係を用いてキャビテーションの状態を推定する方法を検討した。

キャビテーション騒音の周波数帯を特定する方法と

しては、キャビテーションが間欠的に発生する圧力条件にし、キャビテーション発生時（図7 (a) A, C）と未発生時（図7 (a) B, D）における音圧データの1/3オクターブバンド分析の結果を比較する。その結果を図7 (b) に示す。図7 (b) より、キャビテーションの発生と未発生の音圧レベルの違いが2.5kHz から20kHzの周波数帯に現れることがわかった。

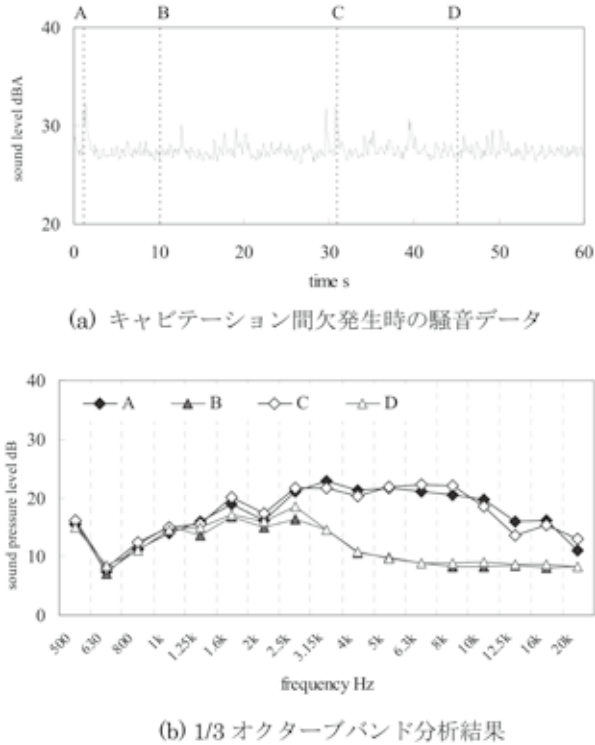


図7. キャビテーション騒音の周波数帯

この結果から、明らかな差異が見られた8kHzの周波数帯に着目し、圧力比と音圧レベルの関係を確認した。図8に一例として、キャビテーションの状態の推定が困難であった弁口径の圧力比 X_{FV} と騒音レベル（図8下図）および特定周波数帯（8kHz）の音圧レベル（図8上図）

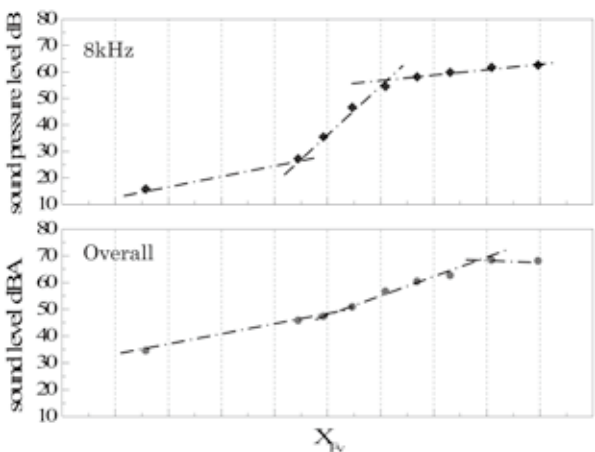


図8. 特定周波数帯を用いた推定方法

の関係を示す。図8より、騒音レベルよりも特定周波数帯の音圧レベルの方がその変化が明確で、音圧レベルで推定したキャビテーションの状態の圧力比が聴感で推定した圧力比とほぼ一致することを確認した。

以上のことから、圧力比と騒音レベルの関係から推定できなかったキャビテーションの状態を圧力比と特定周波数帯における音圧レベルの関係を適用することで推定できることがわかった。

4. キャビテーション診断 実施例

実施例として、当社の調節弁 FVY51 を用いて圧力比テーブル方式によるキャビテーション診断を行った。実施手順として、まず実験により調節弁の開度ごとに絞り前後の圧力から求める圧力比 X_{FV} と特定周波数帯の音圧レベルの関係を求め、圧力比テーブルを作成した。そして、テーブル値と圧力比 X_{FV} を比較してキャビテーションの状態を判断するロジックを組んだ診断プログラムを作成した。

評価方法としては、圧力比テーブル作成に使用していない調節弁に対して、実験により初生および臨界の圧力比 X_{FV} を確認し、圧力比テーブルと比較した。図9にキャビテーション診断の結果を示す。評価の結果、考案した圧力比テーブルによるキャビテーション診断方法により妥当な診断ができることが概ね確認された。評価結果を詳細に分析した結果、サンプルや圧力条件によって、初生と臨界が重なる領域が存在することがわかった。したがって、診断メニューとしては、初生か臨界のどちらかを診断するか、初生、臨界とその両者が存在する状態の3つの状態を診断することが考えられる。

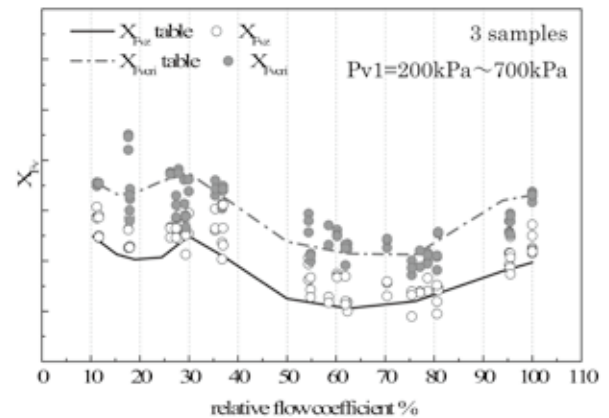


図9. キャビテーション診断実施例

5. おわりに

本研究では、調節弁にキャビテーション診断機能を追加するために圧力比テーブルを用いたキャビテーション診断方法を考案し、その実現性を確認した。本技術を

実用化することにより、調節弁で発生するキャビテーションの問題に対して事前にその危険性を認識することができ、対応策を検討することができる。

今後は実用化に向けて、診断精度を決める重要な要素である圧力比テーブルの仕様を決定していく。そのためにバルブサンプルや使用流体の条件の違いによってどの程度の影響があるかを評価し、その影響の要因を明らかにしていかなければならない。その評価方法（試験設備やキャビテーションの可視化環境）の確立が検討すべき課題と考える。

<参考文献>

- (1) 加藤洋治：キャビテーション 基礎と最近の進歩，1999, pp.258-260, 槇書店
- (2) 山本和義，バルブとキャビテーション，バルブ技報, No.53, 2004, pp.7-11, バルブ工業会
- (3) 古谷元洋，大谷秀雄，流量計測・制御機能付きバルブの開発，azbil Technical Review, Vol.27, 2009, pp.42-48
- (4) 守田栄，新版 騒音と騒音防止，1985, pp.69-74, オーム社

<商標>

アクティバルは、アズビル株式会社の商標です。

<著者所属>

木下 良介 バルブ商品開発部

角田 真一 バルブ商品開発部

