

220 バウンシングボールによる遠心圧縮機内の不安定現象の制御

Unsteady Phenomenon Control by Using a Bouncing Ball
In a Centrifugal Compressor

○学 太田 進輔 (法政大院) 正 朝賀 裕一朗 (法政大院)

正 水木 新平 (法政大) 正 辻田 星歩 (法政大)

Shinsuke OHTA, Yuichiro ASAGA, Shimpei MIZUKI, Hoshio TSUJITA

Hosei University, 3-7-2, Kajino-cho, Koganei, Tokyo

1. 緒論

設計点以下の流量で遠心圧縮機を運転すると、旋回失速およびサージングという不安定現象が生じることが知られている。より広い流量範囲で高い性能を有する運転を行うには、これらの不安定現象を抑制する必要があり、今日までにアクティブまたはパッシブコントロールによるサージングの制御が試みられてきている。

本研究では、パッシブコントロールによる遠心圧縮機のサージング制御を試みる1つの方法として、吐き出し管に孔を開け、その上部にプレナムと孔を開けた鉄板を装着し、そこに圧力変動で動く重さの球を置き、球の動きによりサージングをいかに制御できるかを調べた。

2. 実験装置

本研究に使用した実験装置の概略図をFig.1に示す。Fig.1におけるボール弁装置をつけて吐き出し管のみの状態をNormalとする。ボール弁装置は4種類製作し、Fig.2(a)～(d)にCase1, Case2, Case3およびCase4として示す。Case1とCase2の球上部のプレナム容量は等しく、同様にCase3とCase4のプレナム容量も等しくし、プレナム容量の差に着目した。また、Case2とCase4では球が完全に浮かないよう球の上部から約2mmの位置に糸を張り、球の動きを制限した。ボール弁装置後方の吐き出し管上に設置した圧力測定孔により静圧を測定し、ボール弁として機能するような最適な球と孔径を選択した。流量を絞っていくと、球が振動を始めて隙間から上部に漏れが生じ、圧力が設定値以下になると球が元の位置に戻るようになり孔の周りは斜面になっている。なお、選択した球はどれも孔の縁に接し、球が孔から下に落ちることはない。球は重さによる影響を調べるために、スチール製とアクリル製を用いた。それら供試球の仕様をTable1に示す。重さ以外はほぼ条件が同一である。プレナム上部に設置したバルブは全閉で測定を行った。

3. 実験方法

実験時の回転数は50,000rpmである。流量調節は、吐き出し管下流に設置した流量調節弁で行った。測定には、予め設定した流量で、吸込み側ではゲッチング型マノメータを用いて入口静圧を測定し、吐き出し側においては、ピトー管とU字管型マノメータを用いて全圧、静圧および動圧を測定した。また、圧力変換器を用いて出口静圧とその変動を測定し、圧力変動を高速フーリエ変換して周波数特性を求めた。

4. 結果及び考察

4.1 圧縮機特性

Fig.3に効果的にサージングを抑制するものがあったアクリル6mmおよびアクリル10mmにおける特性曲線を示す。横軸には修正流量係数 Φ' 、縦軸には全圧係数 Ψ_t をとっている。すべてのケースにおいて、性能はNormalとほぼ重なる結果となっているのがわかる。このことから、実験条件の変化による性能特性への影響はないと考えられる。

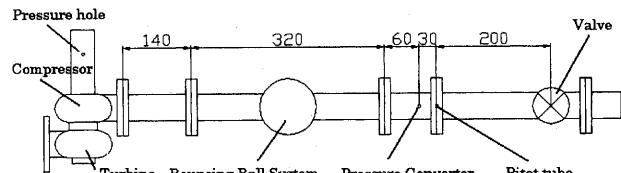


Fig.1 Test Facility

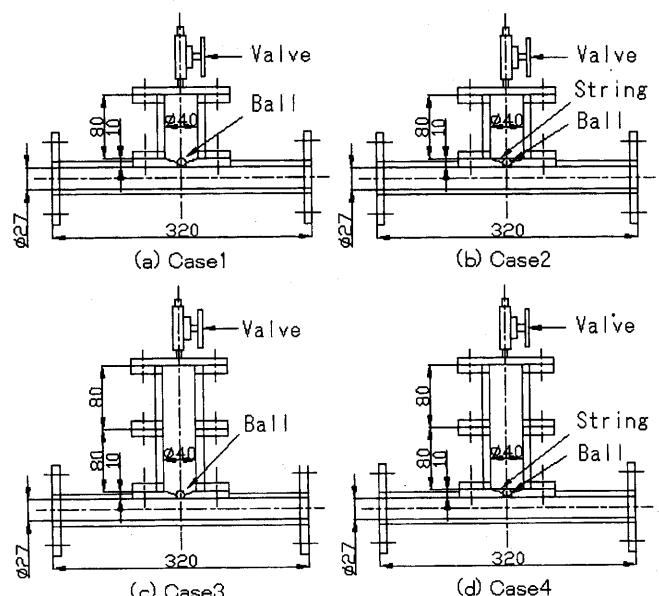
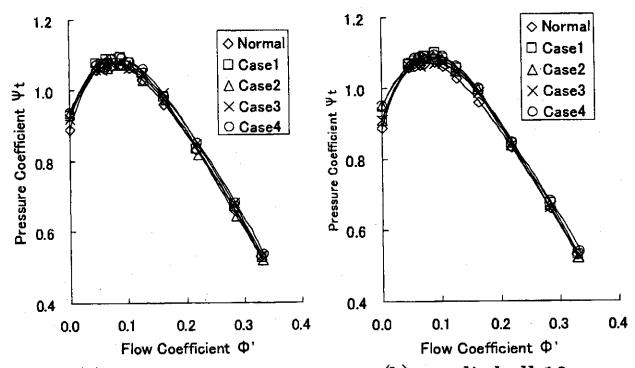


Fig.2 Bouncing Ball System

Table1 Specification of Ball

material	steel	acryl
diameter(mm)	6	10
mass(g)	0.88	4.06



(a) acrylic ball 6mm

(b) acrylic ball 10mm

Fig.3 Performance Characteristics

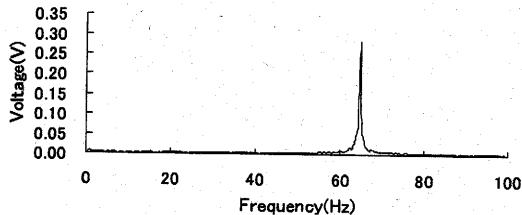


Fig.4 Power Spectrum (Normal)

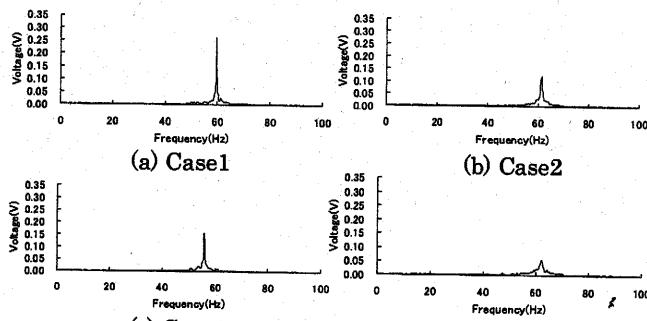


Fig.5 Power Spectrum (acrylic ball 6mm)

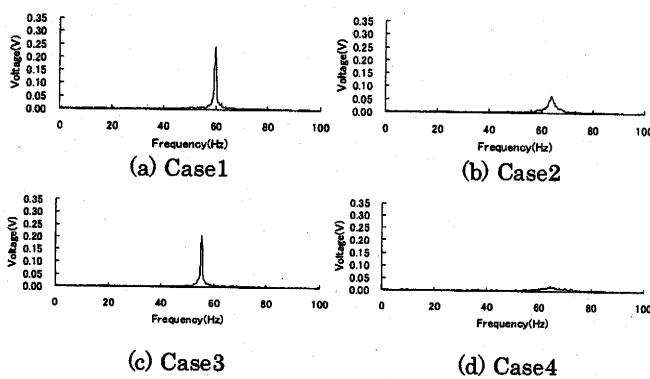


Fig.6 Power Spectrum (acrylic ball 10mm)

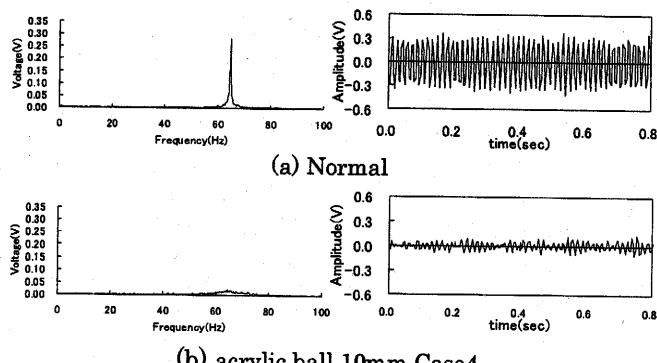


Fig.7 Power Spectrum and Pressure Fluctuation

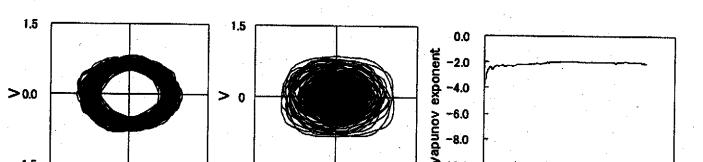


Fig.8 Phase Space Diagram

Fig.9 Lyapunov Exponent

Fig.9 Lyapunov Exponent

4.2 周波数特性

Fig.4~Fig.6 に $\Phi'=0$ におけるパワースペクトルを示す。ここでは Normal と、より効果的であったアクリル球での各 Case の結果のみを示すことにする。

4.2.1 アクリル直径 6mm の球の場合

Fig.5 から、すべてのケースにおいて Normal と比べるとスペクトルのピークが減少しており、完全にはなくなっていないが、Case4 で最もサーボングを制御しているのがわかる。また、Case1 と Case2 を比較すると、Case2 のピークが小さく、Case3 と Case4 を比較すると Case4 のピークが小さい。このことは、Case1 と Case3 では球上部に糸を張っておらず、アクリル 6mm の球が軽かったので球が完全に浮いた状態になってしまい、ボール弁として機能しなかったと考えられる。一方、Case2 と Case4 では球の上部に糸を張り、球の動きを制限したので、球が完全に浮いた状態になることはなく、かつ質量が軽く、圧力変動に対する反応が早かったため、Case1 や Case3 よりも効果的にサーボングを抑制したと考えられる。

4.2.2 アクリル直径 10mm の球の場合

Fig.6 の全 Case において、Normal と比較するとスペクトルのピークが減少しており、Case4 ではピークがほとんど見られない。アクリル 6mm のときと同様に Case2、Case4 でサーボングを抑えており、また、アクリル 6mm に比べてアクリル 10mm のほうが効果的にサーボングを抑制していることがわかる。これは孔径が 10mm となり、孔径 6mm の場合よりも、球と孔の隙間から効率よく空気が流れたためと思われる。

4.3 変動の周期性

Normal および最もサーボングを抑制したアクリル 10mm の Case4 における $\Phi'=0$ の圧力変動、パワースペクトル、2 次元位相図およびリアブノフ指数を調べた。

4.3.1 圧力変動およびパワースペクトル

圧力変動およびパワースペクトルを Fig.7 に示す。Normal では 65Hz 付近にピークが見られ、また、圧力変動からも周期的な運動をしていることがわかる。しかし、アクリル 10mm ではピークが確認できず、変動の振幅も小さいため周期性を確認することはできなかった。

4.3.2 2 次元位相図およびリアブノフ指数

圧力変動とその一階微分の関係を表す相図を Fig.8、アクリル 10mm におけるリアブノフ指数の収束過程を Fig.9 に示す。Fig.8 より Normal の相図は周期的な円軌道を描いているのがわかる。しかし、アクリル 10mm では Normal と比べると複雑な軌道を描いており、周期性は弱いことがわかる。次に Fig.9 のリアブノフ指数から、n が 1024 におけるリアブノフ指数の値が負になっているのがわかる。このことからアクリル 10mm における圧力変動はカオス状態ではなく、準周期運動をしていると考えられる。

5. 結論

- (1) 球上部のプレナム容積および球を置く孔は大きいほうがサーボングを抑制する効果が大きい。
- (2) サーボングを抑制している圧力変動はカオス状態にはならず、準周期軌道を描いた。

参考文献

- 1) Mizuki, S.・他 2 名, ASME Paper 00-GT-0429 (2000)
- 2) G.L. ベイカー, カオス力学入門, (1990), 啓学出版