

吐出口を水面下に配置した遠心送風機配管系の圧力脈動に関する研究

坂本 雅彦・仲野 正人*・松林 俊夫**

Pressure Pulsation for a Centrifugal Blower Piping System with Discharge Opening
below the Water Surface

Masahiko SAKAMOTO, Masato NAKANO, and Toshio MATUBAYASHI

The pressure pulsation for a centrifugal blower piping system with the discharge opening below the water surface has been investigated. The experiments are carried out using the centrifugal blower facility with a plenum chamber, and the pressure in the pipe line is measured for various parameters such as the number of revolution of the blower, the opening of the throttle valve, and the depth of the discharge opening. A one-dimensional model is proposed to predict the transient response of the compression system, and the results were compared with the experimental results. It is clear that the amplitude and the period of the pressure fluctuation in the plenum chamber increase as the depth increases. The diameter of the air ejection hole influences the pressure fluctuation. The results obtained by the calculation model agree approximately with those obtained by experiments.

1. 緒 言

サージングとは、ターボ形送風機や圧縮機および配管を含む管系が自励振動を起こし、ある特定の周期で吐出圧力等が脈動し、激しい振動や騒音を生ずる現象をいう。作動域の拡大・安定運転の要求から、サージング抑制に関する研究は、これまで数多く報告されている⁽¹⁾。特に、Greitzer^{(2),(3)}は、貯気槽を有する系をヘルムホルツの共鳴器としてモデル化し、固有振動数を含む無次元パラメータB値を提案し、圧縮機に対応したある値以上でサージングが発生すること等を明らかにしている。が、これら圧縮機系では、配管吐出口は、大気中に配置されており、静水中に設置した場合の配管内圧力変動の特性に関する報告は極めて少ないように思われる。

吐出口を静水中に配置した送風機配管系として、静水中に空気を吹き込み、微生物を繁殖させ、有機物を分解する浄化槽施設や、著者等の一人が提案する取水口スクリーン塵埃浮流装置⁽⁴⁾がある。後者は、河川内取水口に集積・流入する塵埃を防止する除塵装置で、図1に示す概観を有する。本装置は、基本的に、ブロウ、貯気槽、そして柵（以下、これをスクリーンと呼ぶ）を構成する

管（以下、これを空気噴出管と呼ぶ）群からなり、圧縮空気が、各種配管を介して空気噴出管に設けられた小孔から静水中に噴出する。吐出口を水面下に配置した送風機配管系の管内圧力の過渡的な特性を解明することは、配管系の防音・防振対策とも絡み、これら各種装置の設計条件を同定する上で極めて重要である。

本研究では、吐出口を水面下に配置した遠心送風機配管系の圧力脈動に関する特性を明らかにすることを目的

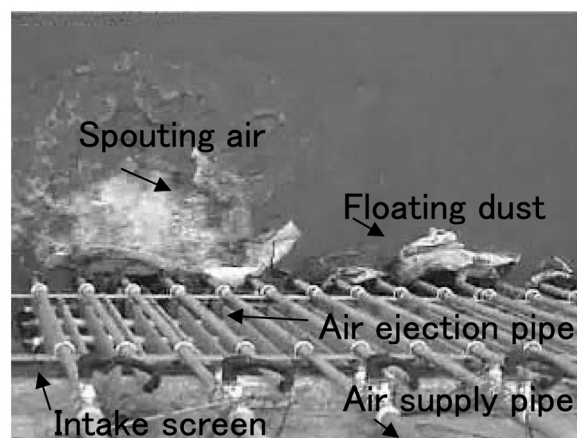


Fig.1 A new type of dust removal equipment of intake screen [Katsurage river in NARA].

*奈良高専専攻科

**大和機械設備(株)

送風機から空気は、内径が $\phi 71\text{mm}$ の塩ビ配管、内径が $\phi 30\text{mm}$ のオリフィスを通して貯気槽に供給された後、絞り弁を介して $0.8 \times 1.0\text{m}$ の矩形断面を持つ水槽静水中に噴出する。なお、本配管系のB値は0.13で、共鳴器と仮定した振動の固有値は31.9Hzである。

実験は、送風機回転数、絞り弁の開度、吐出口の水深をパラメータに、配管内6箇所の圧力を半導体圧力センサーを用いて測定し、その過渡的な特性を調べた。また、吐出口の配管形状による影響を調べるため、図4に示す空気噴出管を吐出口に設置し、前述と同様の測定を行った。実験に用いた噴出管(長さ:L, 内径:Di)は、表1に示す3タイプで、いずれのタイプも管内には等間隔に5ヶ所の空気噴出孔(孔径: $\phi 4$, $\phi 5$, $\phi 6\text{mm}$)を設けている。

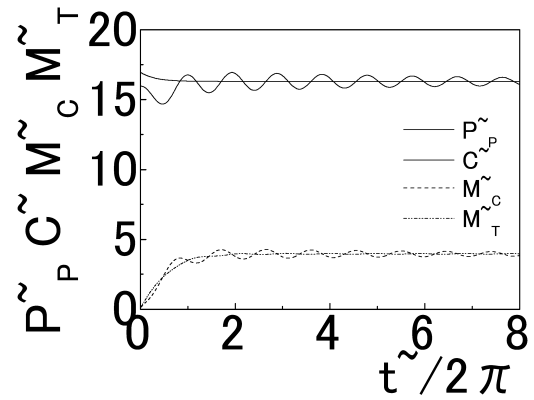
配管内圧力の測定は、いずれもサンプリングの周波数を1kHzとし、20s間測定した。

4. 結果および考察

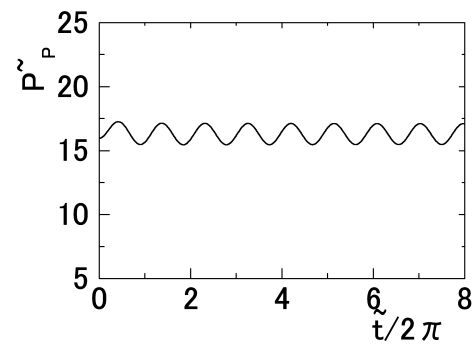
数値計算結果の一例を図5(a)に示す。Greitzerの結果と同様に、パラメータB値が小さい場合、配管内の圧力や流量は次第に減衰し、ほぼ一定値を示す。一方、水深hが増加すると、B値が小さい場合であっても同図(b)に示すように、配管内の圧力や流量の変動振幅が増大し、周期的な変動をもたらしていることが分かる。

遠心送風機配管系の吐出口を大気中に設置し、送風機の回転数をそれぞれ一定のもと、絞り弁の開度を2.94～100%の範囲で変えて測定した性能曲線を図6に示す。絞り弁の開度が一定の場合、回転数の増加に伴い流量及び送風機背後の圧力がともに増大する。一方、回転数が一定の場合、絞り弁の開度の減少に伴い送風機背後の圧力の上昇及び流量の減少をもたらす。その際、貯気槽内の圧力は、図7(a)に示すような圧力変動に大きな振幅をもたらす。その支配的な周波数は、同図(b)に示すように、27Hz付近に生じた。この値は、本配管系を共鳴器と仮定した際の振動の固有値にほぼ一致する。

遠心送風機配管系の吐出口を静水中に設置し、絞り弁の開度を一定(100[%])に、送風機の回転数をそれぞれ一定のもと、水深hを0～20cmの範囲で変えて測定した性能曲線を図8に示す。吐出口を水面(h=0mm)に配置した場合、図9(a)に示すように、凹面の気液界面を吐出口部で形成し、周囲に水滴を飛散させるものの、貯気槽内圧力の変動振幅は、同図(b)に示すように小さく、その動作点は、吐出口を大気中に設置した場合にほぼ一致する。一方、吐出口の水深が増加するとともに送風機背後の圧力が上昇するとともに低流量側にその動



(a) $B=0.57$ $h=1.0\text{m}$



(b) $B=0.57$ $h=5.0\text{m}$

Fig. 5 Calculation results.

作点が移行する。吐出口の水深が50mmにおける貯気槽内圧力は、図10(a)に示すように、平均圧力でおおよそ2.20倍、圧力の変動振幅でおおよそ7.5倍程度、 $h=0\text{mm}$ の結果に比べ増大するとともに、圧力変動の支配的な周波数が、同図(b)に示すように、約9.3Hzと、吐出口を大気中に設置した場合の振動の固有値に比べ、より低周波数側へ移行する。その際、配管吐出口から空気が間欠的に噴出するとともに、同図(c)に示す凹面の気液界面がおおよそ0.11sの周期で形成されていることが観察された。この気液界面の揺動が、結果として、貯気槽内の圧力変動の振幅を増大させるとともに、支配的な振動の固有値をより低周波数側へ移行させていると考えられる。

貯気槽内圧力の変動振幅を平均圧力で除し、これを圧力変動率と定義し、整理した結果を図11に示す。圧力変動率は、吐出口の水深の増加にともない一旦増加した後減少し、ある特定の水深で極大値を持つ。水深の増加に伴い圧力変動率が増大するのは、吐出口から空気が間欠

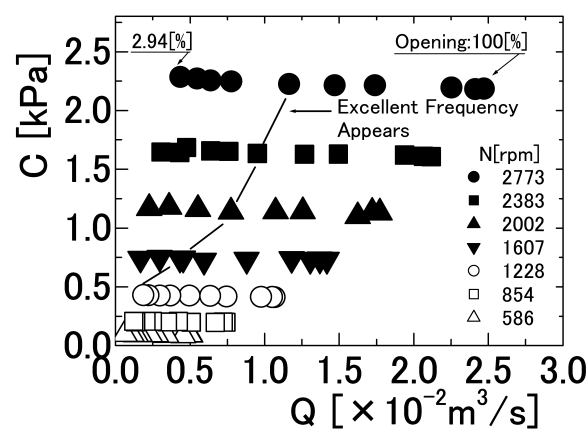


Fig. 6 Static performance curve in atmosphere.

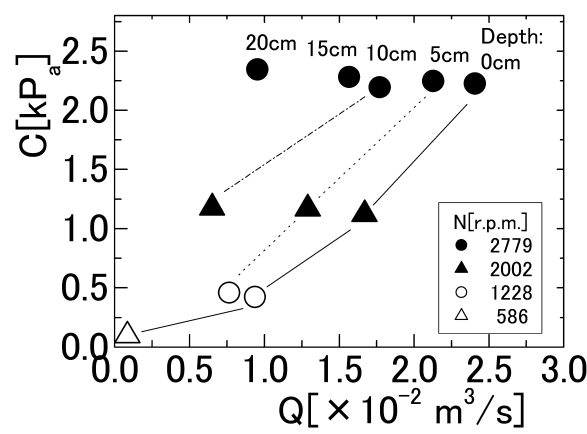
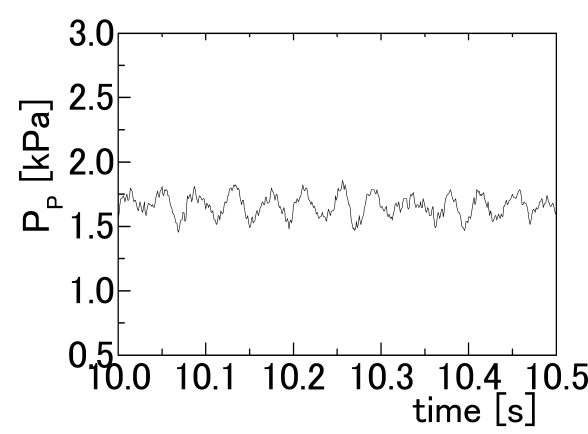
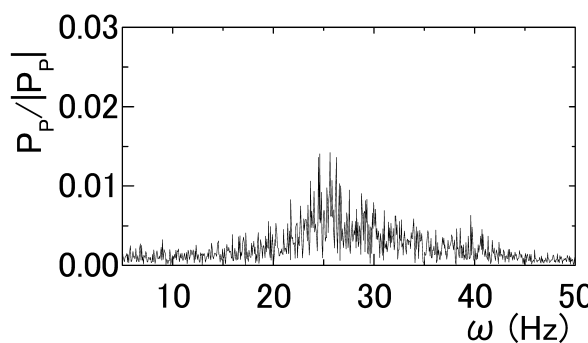


Fig. 8 Static performance curve in water (Opening:100%).

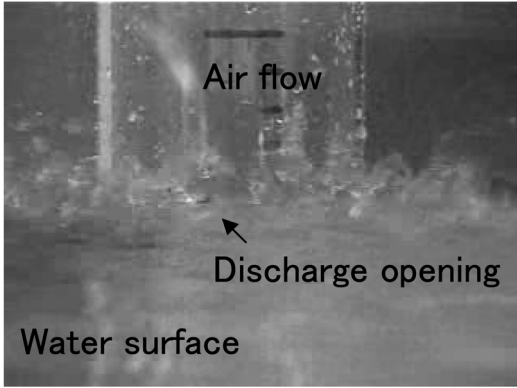


(a) Time history

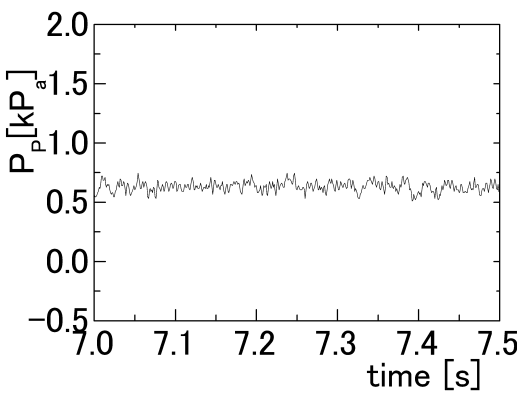


(b) Frequency analysis

Fig. 7 Pressure in plenum chamber (N=2773rpm, Opening:2.94%).

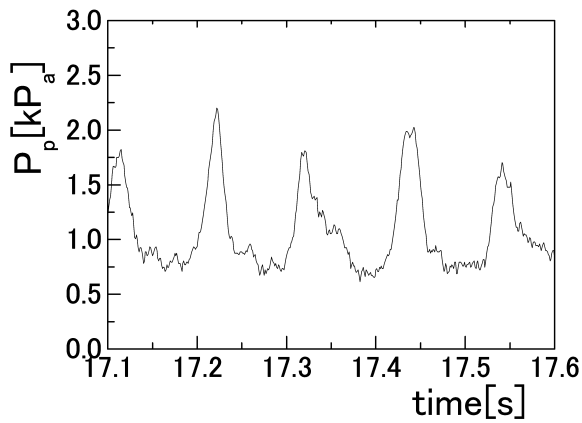


(a) Observation at discharge opening

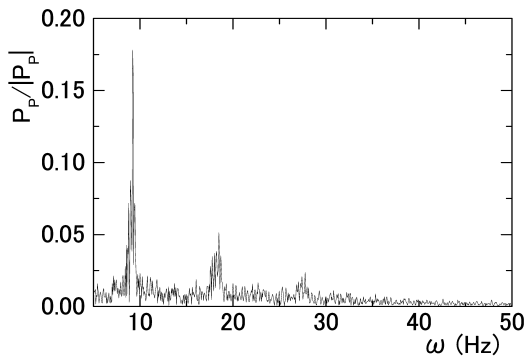


(b) Time history of pressure in plenum chamber

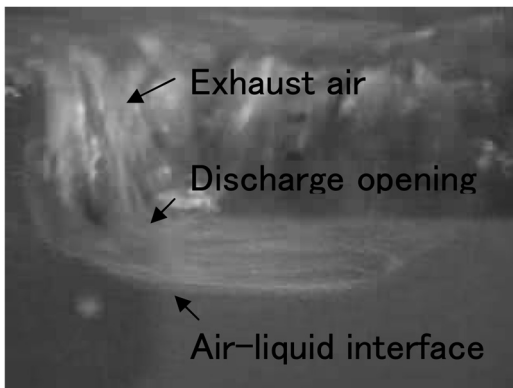
Fig. 9 Influence of hydrostatic pressure (h=0mm, N=2773rpm, Opening:100%).



(a) Time history of pressure in plenum chamber



(b) Frequency analysis



(c) Observation at discharge opening

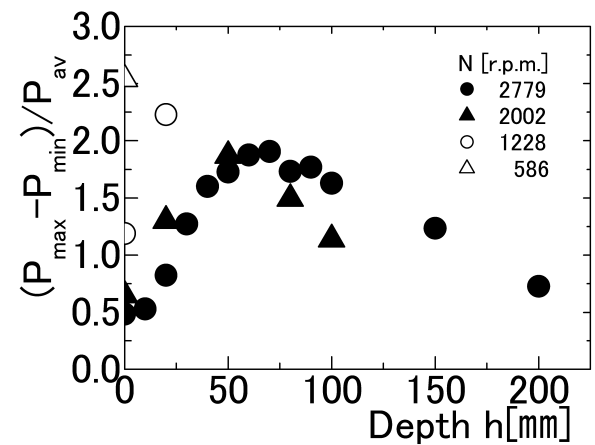
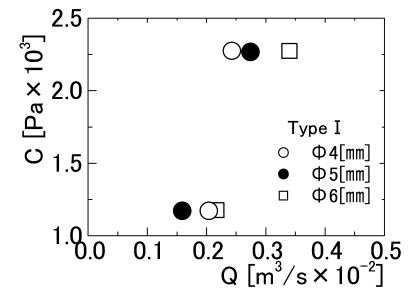
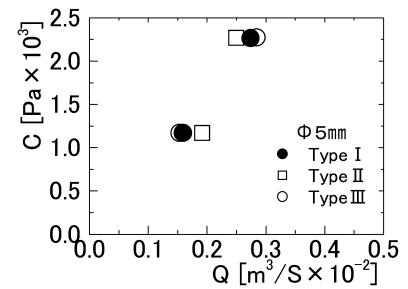
Fig. 10 Influence of hydrostatic pressure
($h=50\text{mm}$, $N=2773\text{rpm}$, Opening:100%).

Fig. 11 Pressure fluctuation ratio.

(a) Type I ($\phi 4 \sim 6 \text{ mm}$)(b) Type I ~ III ($\phi 5 \text{ mm}$)Fig. 12 Static performance curve for piping system
with air ejection pipe (Opening:100%).

的に噴出し、貯気槽内圧力の変動振幅が増大するためであり、圧力変動率が減少するのは、水深の増加にともない吐出口に大きな静水圧が作用し、結果として、圧力変動率の低下をもたらしていると考えられる。

配管吐出口に空気噴出管を設置した際の遠心送風機配管系の性能曲線を図12に示す。空気噴出管の噴主孔径の減少に伴い流量が減少する。今回の実験範囲では、空気噴出管の形状による影響は確認できなかった。

5. 結 言

吐出口を水面下に配置した遠心送風機配管系の圧力脈動に関する特性を明らかにすることを目的に、数値計算モデルを提案するとともに、配管吐出口の水深や形状等が配管内圧力や流量の過渡的な特性に及ぼす影響について検討した。得られた結論は、以下の通りである。

- (1) 吐出口を静水中に設置した場合、性能特性に B 値とともに水深が大きな影響を及ぼす。貯気槽内の圧力変動率は、ある水深で極大値を持ち、変動周期が増大する。
- (2) 吐出口に空気噴出管を設置した場合、噴出管の空気噴出孔径が性能特性に影響する。
- (3) 一元の計算モデルにより得られた結果は、実験結果と定性的に一致する。

引用文献

- (1) 萩野等, 機論 B 編, 68巻668号(2002), 195-201.
- (2) E.M. Greitzer, Transactions of ASME, April (1976), 190-198.
- (3) E.M. Greitzer, Transactions of ASME, April (1976), 199-217.
- (4) DKS 式 スクリーンの塵埃浮流装置, 大和機械設備(株)