

共鳴型サイレンサの高性能化に関する研究

岡野 裕征 御法川 学 岩原 光男 長松 昭男
法政大学工学部機械工学科

最近、様々な消音装置で共鳴器を利用して低周波数域の減音を得ようとする試みがなされている。一方、換気用サイレンサは薄板構造であり、共鳴周波数付近での板振動や音響透過の影響が減音特性に現れてしまうことがある。本研究は、共鳴型の換気用サイレンサの開発に関して、その設計手法を確立するため、音響試験による減音特性の実験的解明および、境界要素法による減音特性の理論解析を行うものである。

1. 緒言

消音器 (silencer) はガスを通過させつつ音の伝搬を防止するもので、消音メカニズムから、吸音形、アクティブ形、リアクティブ形 (共鳴形) などに分けられる。そのため、送風機の翼通過周波数成分などが十分に低減されない場合も見られる。最近、様々な消音装置で共鳴器を利用して低周波数域の減音を得ようとする試みがなされている。一方、換気用サイレンサは薄板構造であり、共鳴周波数付近での板振動や音響透過の影響が減音特性に現れてしまうことがある。

本研究は、共鳴型の換気用サイレンサの開発に関して、その設計手法を確立するため、音響試験による減音特性の実験的解明および、境界要素法による減音特性の理論解析を行うものである。

2. 音響試験による減音特性の実験的解明

2.1 共鳴型サイレンサの原理

共鳴型サイレンサ孔部の基本形はヘルムホルツ型共鳴器と呼ばれる、ネック部分の空気を質量、空洞部の空気をバネと考えた共振系を構成している。ネックの長さを l 、(l_e :開口端補正值 $l_e=l+0.8d$)、孔径を d ($r=d/2$)、音速を c 、空洞部の容積を V 、孔の面積を S ($=\pi d^2/4$)、とすると、 n 個の孔がある場合の共鳴周波数は、式(1)で表される。

$$fr = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{Sn}{V(l + \frac{\pi}{2}r)}} \quad [\text{Hz}] \quad \dots (1)$$

2.2 実験装置及び方法

供試サイレンサは矩形ダクトに挿入できるように断面形状も矩形である。実際の製品に近い薄板 ($t=0.8\text{mm}$) のもの (以下、TYPE A) と、板振動の影響を取り除くために製作した厚板 ($t=6\text{mm}$) のもの (以下、TYPE B) を設計、製作した。それぞれ共鳴孔の個数を変えて共鳴周波数を変えてある。音源はサイン波を周波数自動掃引して変化させて、スピーカからダクト内に出力する。その際、サイレンサ入口のフィードバックマイクにより、出力電圧を制御し、平坦な周波数特性を得られるようにしてある。

ラントや建物の換気ダクト内の騒音を低減する場合、安価で広い周波数帯域の低減が可能な吸音型サイレンサが広く利用されている。このサイレンサは、内装する吸音材料の吸音特性上、低周波数域の減音量がやや小さい

ダクト内の音圧レベルは 1/2 インチコンデンサマイクロフォンによって測定し、メジャリングアンプを通してFFTアナライザによって記録し、減音量Attはサイレンサの入口 P_1 と出口 P_2 の音圧レベルの差から求めた。なお、管の他端は吸音クサビによって無反射端としている。

2.3 実験結果

サイレンサ A, B において、孔数を変えることで減音ピークを調整できるかを検証した。Table. 1 にそれぞれの理論値と実験結果を、Fig. 1 に薄板の、Fig. 2 に厚板の減音特性グラフを示す。

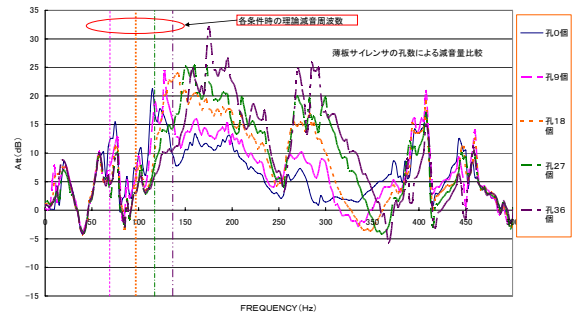


Fig.1 Noise reduction characteristics of tested silencers (Comparison of the number of holes in TYPE A)

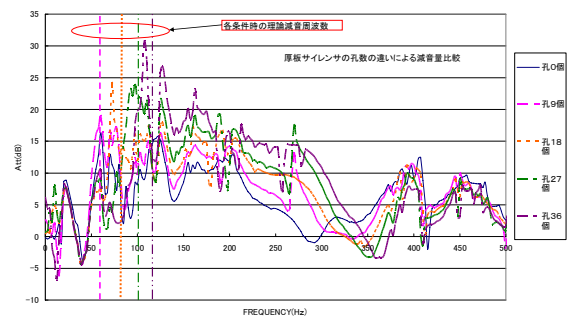


Fig.2 Noise reduction characteristics of tested silencers (Comparison of the number of holes in TYPE B)

Table.1 Experimental and calculated resonance frequency for tested silencers.

TYPE	孔数 n	板厚 t [mm]	実験値 f [Hz]	理論値 f_0 [Hz]
A-1	0	0.8	(115)	-
A-2	9		127	67.2
A-3	18		142	95.0
A-4	27		150	116.4
A-5	36		175	134.3
B-1	0	6	(120)	-
B-2	9		60	57.2
B-3	18		72.5	80.9
B-4	27		97.5	99.1
B-5	36		107.5	114.4

次に孔部に 40mm, 20mm の金属パイプを挿入し, 共鳴部分の板厚だけを変更することで, 共鳴周波数を調整できるかどうかを検証した. Fig. 3 に TYPEA, Fig. 4 に TYPEB の実験結果を示す.

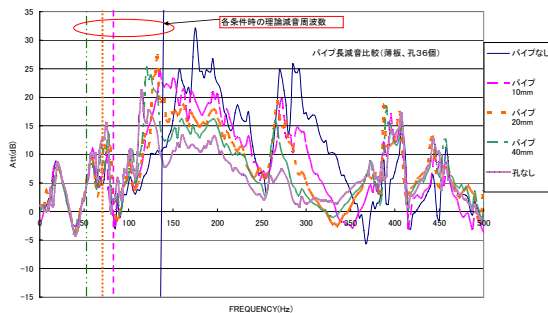


Fig.3 Noise reduction characteristics of tested silencers (Comparison of the neck length in TYPE A)

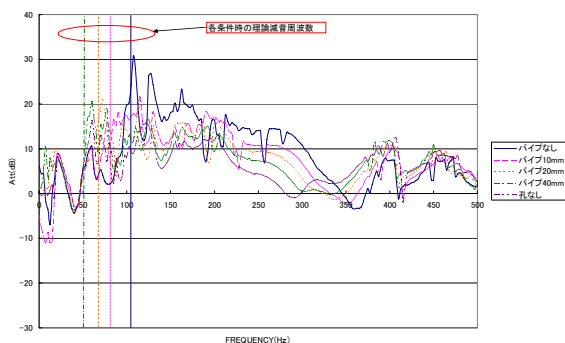


Fig.4 Noise reduction characteristics of tested silencers (Comparison of the neck length in TYPE B)

3. 境界要素法による音響解析

実験においてサイレンサがどのような減音特性をもっているかどうかは確認できるが, 音圧がダクト内部においてどのように分布しているか, どのような設計変更がよりよい減音特性を持つことができるかを検証するのは難しい. そこで, 境界要素法を用いた音響解析を行い,

実験データ, 理論式との比較を行った. 3Dモデル作成には Solid Works を境界要素メッシュ作成には Altair HyperMesh を, 音響解析には LMS SYSNOISE を用いた.

SYSNOISE では構造物はすべて剛体として扱われる. まずはサイレンサの孔部を閉じて, 単純膨張型サイレンサとしての特徴を有するのかが確認した. Fig. 5 にサイレンサのモデル図を, Fig. 6~8 に減音ピークが見られた 115Hz 付近の音圧分布を, Fig. 9 に孔なしサイレンサの周波数応答関数を示す.

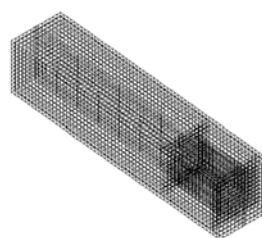


Fig.5 BEM model of the tested silencer

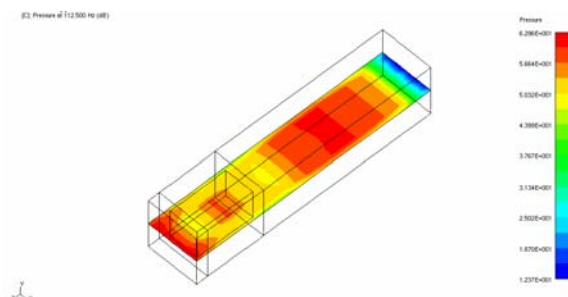


Fig.6 Sound pressure distribution of tested silencer(112.5Hz)

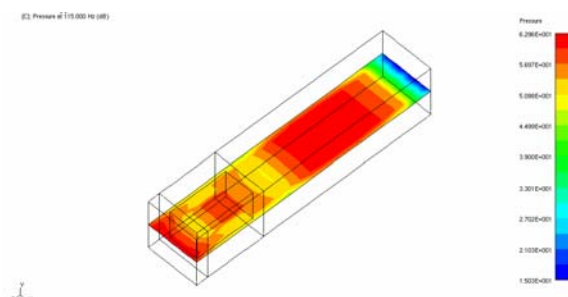


Fig.7 Sound pressure distribution of tested silencer(115Hz)

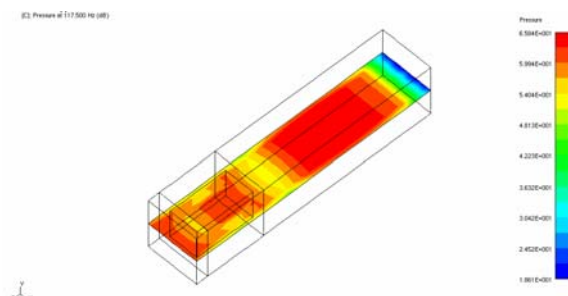


Fig.8 Sound pressure distribution of tested silencer(117.5Hz)

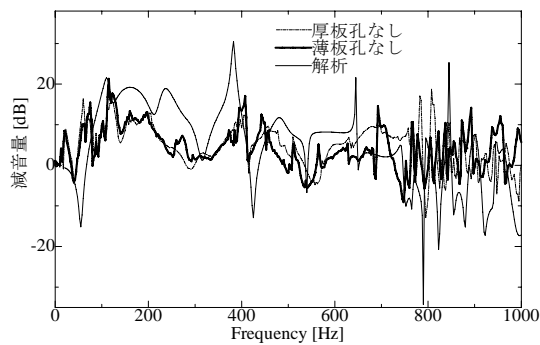


Fig.8 Frequency response function of tested silencer

4. 結言

板振動が減音特性に与える影響を調べるために、音響加振されにくい厚板サイレンサを製作し、その特性を薄板サイレンサと比較した。その結果、厚板の減音ピーク周波数では実験値と理論値が非常に近い値となった。これは薄板と比較した場合に内板の振動が小さいこと、板が厚い分透過音の影響が小さいことを考慮すると、厚板であれば共鳴による減音が行われていると考えられる。一方、薄板については減音ピーク周波数が理論値と大きく離れ、薄板であることの何らかの影響があることが示唆された。また、孔数が大きい方がピーク周波数での減音量が大であり、加えて広帯域の周波数において減音効果が向上することがわかった。

薄板の減音ピーク周波数が理論値と大きく離れる理由を調べるため、孔部にパイプを挿入してアスペクト比を変え、共鳴周波数を変化させる実験を行った。その結果、減音ピーク周波数をシフトさせることはできたが、依然として数値にはズレがあった。また、パイプ長を長くすると減音効果が悪くなり、孔なしサイレンサの特性に近づいてしまうことも確認した。

境界要素法によるサイレンサの音響解析を行った。孔無しの単純膨張型の解析を行った。実験と周波数応答関数を比較すると、1次ピークは近い値をとっているが全体的にはまだ合っているとはいえない。音響解析は剛体が前提であり、板振動の影響などは排除できるので、サイレンサの音響特性を把握するには有効である。また、モデルを精密にすれば、共鳴孔の影響なども検討できるので、今後の課題である。

今後の課題

- 薄板、厚板両者の特徴を活かした、サイレンサ設計手法の確立。定式化。
- パイプ挿入時の理論値計算の再検討
- 音響解析のモデル化の精度向上、設計への実用化

参考文献

- [1] 社団法人日本騒音制御工学会，騒音制御工学ハンドブック，技報堂（2001）
- [2] 長松昭男，モード解析入門，（1993），コロナ社
- [3] 子安勝ほか，騒音・振動（上，下），コロナ社（1978）
- [4] 鈴木昭次，電子機器設計のためのファンモータと騒音・熱対策，工業調査会（2001）

[5] 鈴木昭次，機械音響工学，法政大学工学部機械工学科（1995）

[6] 白木万博，騒音防止設計とシミュレーション，応用技術出版（1987）

[7] 日本音響学会，音響工学講座3 建築騒音，コロナ社（1988）

キーワード.

消音器、共鳴器、減音特性、板厚

Summary.

Study on performance enhancement of resonator type silencer

Hiroyuki Okano Gaku Minorikawa Mitsuo Iwahara Akio Nagamatsu
Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Hosei University

The silencer is roughly divided into passive, reactive and active types. The reactive silencer which has the Helmholtz resonator is widely used in industrial fields, since it performs large noise reduction of the discrete frequency in the low frequency range. In case that the silencer is constructed by sheet metal which the outer and inner plate of the silencer don't have the sufficient sound insulation and the rigidity, the performance of the noise reduction is affected by unnecessary vibration of chatters due to the acoustic input. On the other hand, the vibration as the structural response may be used to reduce the noise effectively. In this report, the characteristics of the silencers were investigated by changing the plate thickness and the resonator arrangement such as the number of the holes and the length of the necks.

Keywords.

Silencer, Resonator, Noise Reduction Characteristics, Plate Thickness,