

ヘルムホルツ型油圧サイレンサの容量形状と減衰特性

栗林 哲也* , 一柳 隆義** , 西海 孝夫**

Relationship between the Attenuation Characteristics and Volume Configurations of a Helmholtz Type Hydraulic Silencer

Tetsuya KURIBAYASHI* , Takayoshi ICHIYANAGI** , Takao NISHIUMI**

A Helmholtz type hydraulic silencer, which is based on the resonance phenomena of a mass-spring-damper system for its attenuate principle, is known as one of the most practical silencers in the hydraulic systems. The purpose of this research is to clarify the influence of volume geometry on the attenuation characteristics. In particular, a mathematical model that considers the flow for the radial direction of the cylindrical volume and the elastic deformation of the volume vessel wall as effective bulk modulus of working fluid is newly proposed for the design case that L/D is smaller.

Key Words : Hydraulic silencer, Pressure pulsation, Transmission loss, Bulk modulus

1. はじめに

ヘルムホルツ型油圧サイレンサは圧力脈動の下流への伝ばを減衰することで、油圧システムの低振動化や低騒音化に寄与している¹⁾。このサイレンサは狭帯域でしか減衰効果を得られないために、減衰性能を正確に予測する必要がある。円筒容量部の形状が扁平なサイレンサの場合、従来から用いられてきた軸方向の粘性平面波動理論による分布定数系モデルでは減衰特性を正しく評価できないことが報告されている²⁾。

本研究では、サイレンサの容量形状が減衰特性に及ぼす影響を明らかにすることを目的とする。まず、扁平型円筒容器の半径方向に平面波動理論を適用した分布定数系モデルを新たに構築する。つぎに、サイレンサ容量部の上下壁面の弾性変形が減衰特性に与える影響について調べる。

2. 減衰特性の数学モデル

Fig. 1 にヘルムホルツ型油圧サイレンサの構造を示す。同図(a)は容量部に一般的な形状である細長い円筒容器を用いたサイレンサ、同図(b)は容量部の形状が扁平なサイレンサである。本章ではこれらの減衰特性を表わす分布定数系モデルを求め、容量部の長さ L と直径 D との比 L/D をパラメータとして、ヘルムホルツ型油圧サイレンサの形状が減衰特性に与える影響を明らかにする。

本研究では、減衰特性を表す指標として透過損失

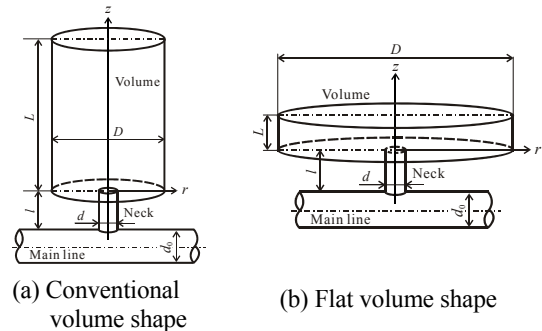


Fig. 1 Helmholtz type hydraulic silencer

TL を用いる。ヘルムホルツ型油圧サイレンサのようにサイレンサが主管路に分岐接続されている場合には、透過損失 TL は次式のように表される。

$$TL = 20 \log_{10} \left(\frac{1}{2} \left| 2 + \frac{4\rho c}{\pi d_0^2 Z_h} \right| \right) \quad (1)$$

ここで ρ , c , d_0 は作動油の密度、油中音速、主管路の直径である。また Z_h はサイレンサの入口インピーダンスを表わす。

サイレンサの入口インピーダンス Z_h は、分布定数系モデルにおいては容量部の形状に応じて考える必要がある。Fig. 1(a)のように容量部が細長い円筒の場合には、容量部内の流体に対して軸方向に伝ばする圧力脈動(流量脈動)が支配的と考えられる。一方、Fig. 1(b)のように容量部が扁平な場合には、脈動は半径方向に伝ばすると考えられる。本研究では、それぞれの軸方向および半径方向に伝ばする圧力脈動および流量脈動の基礎方程式は軸方向および半径方向のナビエ・ストークス方程式と圧縮性を考慮した連続の方程式とし、脈動の伝ば特性を解析することによって、サイレンサの入口インピーダンス Z_h を求める。

* 防衛大学校 理工学研究科

(〒239-8686 神奈川県横須賀市走水 1-10-20)

(E-mail: ed12006@nda.ac.jp)

** 防衛大学校 機械システム工学科

* Graduate School, National Defense Academy

** Mechanical Systems Engineering, National Defense Academy

理論モデルの妥当性を検証するために、ヘルムホルツ型油圧サイレンサの容量部の比 L/D を変化させて透過損失特性を実測した。供試サイレンサは容量部の体積が $V = 1.15 \times 10^{-4} \text{ m}^3$ 、その比が $L/D=0.03\sim 50$ の全 10 種類とした。またネック部の寸法には直径 $d = 12.0 \text{ mm}$ 、長さ $l = 45.0 \text{ mm}$ を用いる。Fig. 2 は計測に用いた油圧回路と計測システムであり、測定には 4 圧力 2 システム法を用いた³⁾。

Fig. 3 に容量部の比 L/D を変化させて実測したヘルムホルツ型油圧サイレンサの共振周波数 f_r の実験結果を示す。同図より、比 L/D が大きく容量部が細長くなる場合には軸方向の分布定数モデルと実測値はよく一致することが確認できる。ところが、比 L/D が小さく容量部が扁平になる場合を見ると、半径方向の分布定数系モデルで得られた傾向と同様に実測値の共振周波数 f_r が低下している。ただし、その低下度合は比が $L/D = 0.3$ まではモデルと一致しているが、それ以下の領域では著しい差異が見られる。

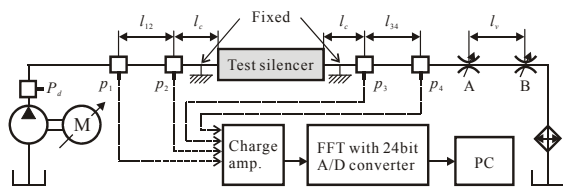


Fig. 2 Schematic diagram of experimental setup

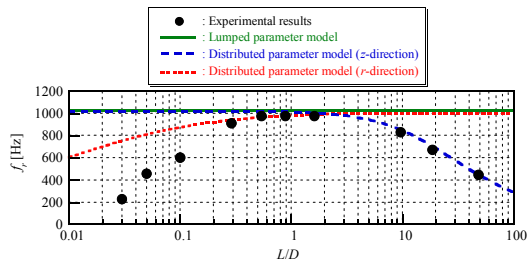


Fig. 3 Influence of dimensional ratio for resonance frequency

3. 上下壁面の弾性変形と有効体積弾性係数

Fig. 3 における差異の原因を圧力脈動に起因する扁平な容量部の上下壁面において生じる弾性変形と考える。そこで、弾性変形の影響は作動油の見掛けの体積弾性係数として等価的に取り扱うことにより、有効体積弾性係数がサイレンサの減衰特性に与える影響について調べる。上下壁面の変位を薄板の曲げにおける最も単純なラグランジュによる低次近似の古典平板理論により表わすと、容量部の上下壁面の弾性変形を考慮した作動油の有効体積弾性係数 $K_e(r)$ は次式で与えられる。

$$K_e(r) = \frac{1}{\frac{1}{K} + \frac{\alpha_1(r) + \alpha_2(r)}{L}} \quad (2)$$

ここに K は作動油の体積弾性係数であり、係数 $\alpha_1(r)$ 、 $\alpha_2(r)$ は古典平板理論において壁面の垂直応力とたわみの関係を表わす比例定数である⁴⁾。本研究では簡略化のため、式(2)を半径 r に関する積分の平均値 \bar{K}_e で近似する。なお係数 $\alpha_1(r)$ 、 $\alpha_2(r)$ は壁面の厚さ h_i をパラメータに持つ。

壁面における弾性変形の影響を検証するために、容量部の直径が $D=135 \text{ mm}$ 、長さが $L=25 \text{ mm}$ のサイレンサの共振周波数 f_r を実験により求めた。Fig. 4 に上下壁面の厚さを $h_i=10, 20, 30, 50 \text{ mm}$ とした結果を示す。同図より共振周波数 f_r はカバー厚さ h_i が薄いほど低くなるが、有効体積弾性係数 \bar{K}_e を用いた分布定数系モデルは弾性変形を考慮しないモデル ($K=1.66 \text{ GPa}$) に比べ減衰特性が実験と定性的に一致する。また同図において実験結果は回路の平均圧力 p_d にかかわらずほぼ等しくなっており、壁面の弾性変形の影響は、容量部内の平均圧力の高低に影響を受けないことが分かる。

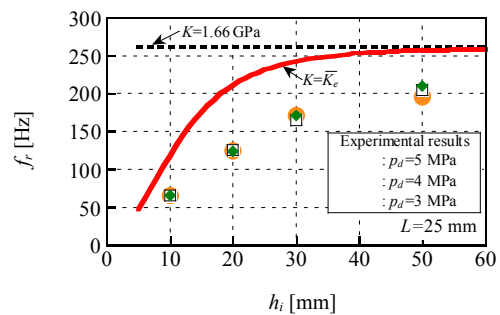


Fig. 4 Relationship between wall thickness and resonance frequency

4. おわりに

本研究では、ヘルムホルツ型油圧サイレンサの形状が減衰特性に及ぼす影響を円筒容量部の形状を考慮した 2 種類の分布定数系モデルおよび実験により検証した。また扁平なサイレンサの容量部の上下壁面における弾性変形の影響を加えた有効体積弾性係数を導出し、その妥当性を明らかにした。

参考文献

- 1) 日本機械学会編, 事例に学ぶ流体関連振動, 第 2 版技報堂出版株式会社編, 流体振動, p.189 (2008)
- 2) 鷲尾誠一, 高橋智, 向畑和男, 山口智史, ヘルムホルツ共鳴器型油圧脈動フィルタの研究, 油圧と空気圧, Vol.24, No.6, pp.729-735 (1993)
- 3) 小嶋英一, 一柳隆義, 油圧ポンプに起因する油圧システム内の圧力脈動の発生と伝ば: 第 2 報, 油圧サイレンサの脈動伝達特性と性能評価法の検討, 日本機械学会論文集 (B 編), Vol.61, No.583, pp.1014-1022 (1995)
- 4) 例えば, 日本機械学会編, 機械工学便覧基礎 α3 材料力学, 初版, p.48 (2004)