

薄い背後空気層を設けた多孔板の吸音特性に関する研究

Study on the Sound Absorption Performance of a Perforated Plate with a Shallow Backing Cavity

○学 白神 大資 (鳥取大), 赤松 真児 (MHPS), 三井 悠生 (MHI),
◎正 西村 正治 (鳥取大), ◎正 中井 唱 (鳥取大), ◎正 後藤 知伸 (鳥取大)

Daisuke SHIRAGA, Masaharu NISHIMURA, Tonau NAKAI, Tomonobu GOTO

Tottori University, 4-101 Koyama-minami, Tottori, Tottori, 680-8552 Japan

Shinji AKAMATSU, Mitsubishi Hitachi Power Systems. LTD, 2-1-1, Shinhamara-arai, Takasago, Hyogo, 676-8686 Japan

Yuki MITSUI, Mitsubishi Heavy Industries. LTD, 2-1-1, Shinhamara-arai, Takasago, Hyogo, 676-8686 Japan

Key Words: Sound absorption, Acoustic impedance, Perforated plate, Backing cavity, Two-microphone-method

1. 緒言

航空機のジェットエンジンやガスタービンなど、大音圧かつ気流を伴うような環境下で、多孔板は大きな吸音効果を発揮することが知られている⁽¹⁾。

Guess⁽²⁾, Melling⁽³⁾らは、単層多孔板の吸音性能評価に、開孔率、板厚、孔径、背後層厚さの4つのパラメータを導入し、多孔板の音響インピーダンスの予測式を提唱している。インピーダンス予測に関する研究の中で、予測式の有効性が示されている⁽¹⁾⁽⁴⁾が、多くは背後層厚さが板厚に対して比較的大きい場合であり、これは低周波数帯域の対策に有効である。一方で、背後層が薄い場合の評価、特に2000 Hz以上の高周波数帯域における吸音性能の検証は報告が少ない。高周波数帯域におけるインピーダンス予測は、特にジェットエンジンの吸音ナセルなどに応用できると考える。

本研究は特に、120 dB以上の大音圧入射かつ、高周波数帯域における多孔板の吸音特性に注目した。多孔板背後の空気層を薄くした際の吸音機構に関して、多孔板表面の音響インピーダンスを2マイクロホン法により求め、Guessが示した予測式との対比を行った。

2. 試験方法

図1.1-1.3に試験装置の模式図を示す。

矩形断面の一边が24.2 mmのSUS304製のインピーダンス管を使用する。インピーダンス管本体の一端にはドライバーユニット (UNI-PEX社 P-1000)、他端には多孔板取り付け用のキャップを固定する (図1.1)。多孔板取り付け用キャップには背後空気層の厚さに対応した溝が設けてあり、このキャップに多孔板をはめ込んで固定する (図1.2)。多孔板から226 mmの位置には管内温度計測用の熱電対 (山里産業社 TMB-KS16 II) を設けている。

計測には1/4インチコンデンサマイクロホン (RION社 UC-29) を使用する。計測座をドライバーユニット側から順に①~⑦の計7か所、本体上面と側面に設けた (図1.1, 1.3)。マイク位置が音波の節になる可能性を考慮して、上面と側面の計測座は軸方向に10 mmずらして設置した。多孔板から6 mmの位置にある計測座⑦は、多孔板直前の音圧レベルを計測するために用いる。本試験では計測座⑤⑥を使用してマイク間の音圧伝達関数を計測し、多孔板表面の音響インピーダンスを算出する。使用しない計測座には塞止プラグを取り付

ける。

ランダムノイズジェネレーター (RION社 SF-06) に接続されたドライバーユニットからホワイトノイズを発生させ、計測座⑦のオーバーオールレベルを多孔板への入力音圧レベルとする。

計測座⑤⑥間の音圧伝達関数 $H(\omega)$ を用いて多孔板表面の無次元音響インピーダンス ζ (式(1)) および吸音率 α (式(2)) を算出する。

$$\zeta = \theta + i\chi = -i \frac{H(\omega) \operatorname{sinc}(\Delta x + l) - \operatorname{sinc} l}{H(\omega) \cos k(\Delta x + l) - \cos kl} \quad (1)$$

$$\alpha = \frac{4\theta}{(1 + \theta)^2 + \chi^2} \quad (2)$$

(Δx : マイク間距離, l : 計測座⑥と多孔板間距離)

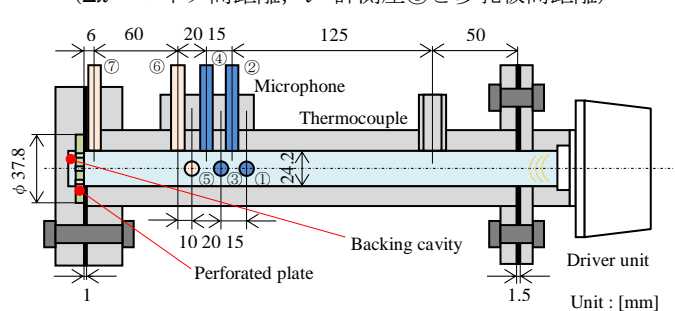


Fig.1.1 Impedance tube. (Side view)

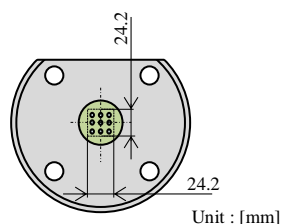


Fig.1.2 Backing cavity cap.

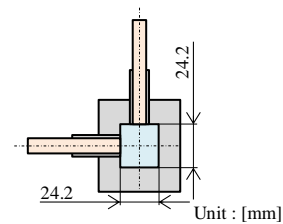


Fig.1.3 Impedance tube. (Section view)

3. Guess の予測式

多孔板の吸音メカニズムは、主に孔(オリフィス)管路部での摩擦による粘性減衰と、オリフィス内の空気が交替的に往復運動することでエネルギーを消散する粒子速度の2乗形減衰(非線形効果)によって構成される。

背後空気層を有する多孔板の無次元音響インピーダンスを ζ とすると Guess によれば式(3)のように表せる⁽²⁾。

$$\zeta = \frac{\sqrt{8v\omega}(t+d)}{\sigma cd} + \frac{(kd)^2}{8\sigma} + \frac{1-\sigma^2}{\sigma} (|M_0| + 0.3|M|) + i \left[\frac{\sqrt{8v\omega}(t+d)}{\sigma cd} + \frac{k(t+\delta)}{\sigma} - \cot kb \right] \quad (3)$$

δ は多孔部での開口端補正值であり式(4)で与えられる。

$$\delta = \frac{8d}{3\pi} \frac{(1-0.7\sqrt{\sigma})}{(1+305M^3)} \left(\frac{1+5 \times 10^3 M_0^2}{1+10^4 M_0^2} \right) \quad (4)$$

v : 内部気体の動粘性係数, M_0 : 孔内粒子速度の Mach 数
 M : 定常流の Mach 数, ω : 角周波数, k : 波数
 t : 板厚, d : 孔径, σ : 開孔率, b : 背後空気層厚さ

式(3)に示す Guess の予測式では、実部第1項が粘性抵抗、実部第2項はオリフィスからの放射抵抗を表している。実部第3項は粒子速度変動に伴う非線形効果を示しており、孔内粒子速度の Mach 数および定常流の Mach 数によって考慮される。

低、中音圧領域では、オリフィス部での粘性減衰によるエネルギー消散が支配的であるが、多孔板に高音圧や気流を伴う場合、オリフィス部での粒子速度の増加に伴う圧力損失による減衰が非常に大きく、吸音性能が音圧依存性を示す。

4. 試験結果・考察

試験に使用した多孔板のパラメータを表1に示す。

Table 1 Parameter of test pieces.

	Model 1	Model 2
Thickness t [mm]	4.4	4.4
Hole diameter d [mm]	2.2	2.2
Porosity σ	0.058	0.058
Back cavity thickness b [mm]	11.00	0.74
Orifice pitch p [mm]	8.07	8.07
b/t	2.50	0.17
b/d	5.0	0.077
b/p	1.36	0.021

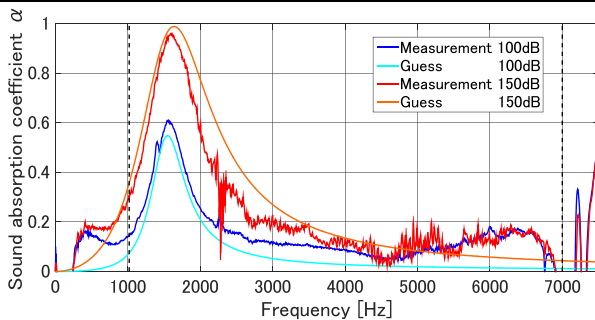


Fig.2 Comparison of sound absorption coefficient with Guess theory and measurement. (Model 1)

入力音圧レベル 100 dB および 150 dB の際の Guess による予測値と計測値の比較を Model 1 について図2に示す。図2中の破線はマイク間距離およびインピーダンス管の内寸で

決まる平面波の計測限界周波数の上下限を示している。

予測値は音圧レベルの増加に伴う非線形効果が非常に大きく、多孔板の吸音性能が音圧依存性を示すことを表している。計測値は 100 dB, 150 dB ともに予測値とおよそ一致している。このことから、背後空気層が厚い場合、Guess の予測式は、多孔板のインピーダンス予測に有効であることが確認できる。

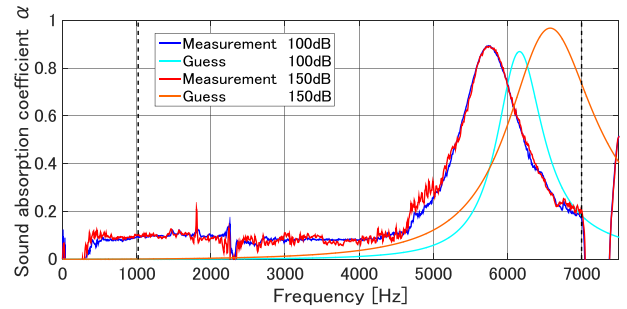


Fig.3 Comparison of sound absorption coefficient with Guess theory and measurement. (Model 2)

一方で図3に示す Model 2 の場合は、吸音率のピーク周波数やピーク値が予測値と計測値で大きくずれてしまう。背後空気層が薄くなると、オリフィス通過後の入射波の干渉や、平面波形成が大きく影響されるためだと考えられる。また計測値は、入力音圧レベルの増加に伴う粒子速度の非線形効果が現れず、音圧依存性を示さない。これは、Model 1 に比べ背後空気層が非常に薄いため、オリフィス内の空気が振動するのに十分な空間がないことが要因に挙げられる。

5. 結言

多孔板背後の空気層を薄くした際の吸音機構に関して、多孔板の音響インピーダンスを実験的に調べた結果を得た。

1. 多孔板背後の空気層が薄い場合、Guess が示した多孔板のインピーダンス予測式は計測値と一致しない。
2. 背後空気層が薄い場合、高音圧入射に伴う非線形効果が現れず、多孔板の吸音性能が音圧依存性を示さなくなる。

参考文献

- (1) 栗山哲典他, “多孔板の非線形音響特性に関する研究”, 日本機械学会中国四国支部総会講演会講演論文集 43 巻 (2005), pp. 177-178.
- (2) A. W. Guess, “Calculation of perforated plate liner parameters from specified acoustic resistance and reactance”, Journal of Sound and Vibration, Vol. 40 (1975), pp. 119-137.
- (3) T. H. Melling, “The acoustic impedance of perforates at medium and high sound pressure levels”, Journal of Sound and Vibration, Vol. 29 (1973), pp. 1-65.
- (4) 宇津野秀夫他, “伝達行列法による多孔板吸音特性の実験的研究”, 日本音響学会誌 59 巻 6 号(2003), pp.301-308.