

吸音率測定音響管の管内減衰補正について*

○寺尾 道仁, 関根 秀久, △小川 雄史 (神奈川大・工)

1. はじめに 音響管による吸音率測定においては、音圧測定点と試験体間の音響管の音響消散の補正が必要になる。この音響消散は、入射波と反射波が合成された音場に依存する現象であると考えられるが、ISO10534 (インピーダンス管による吸音率及びインピーダンスの測定) では、入射波と反射

波が相互に独立に音響消散する補正式表現を与えておりその妥当性には疑問が残る。そこで、実験により、ISO の補正法の有効性を調べるとともに、新たな補正法を提案する。

2. 実験装置および測定方法 Fig. 1 に実験ダクトを示す。ダクトは厚肉鋼管 ($d=47\text{mm}\phi$) を用いた。ダクト内の測定面 x_i ($i=1,2$ の 2 位置) における入射波と反射波音圧 p_i^+ と p_i^- の分離測定は、それぞれの位置に p_i と p_i'' の 1/2" コンデンサマイクロホンを挿入し、2 マイクロホン法 (間隔 $s=100\text{mm}$) により行った。

3. 管壁減衰を受ける進行波の表現 Fig. 1 のような剛・直管内において、正及び負の方向に進む平面波の点 x における複素音圧振幅をそれぞれ p^+ と p^- とすれば、符号は複号同順として、次式(1)により表すことができる。

$$p^\pm = p_0^\pm e^{\mp jkx} \quad (1a)$$

ここで、 k は複素伝搬定数、すなわち、

$$k = \omega/c - j\alpha_w \quad (1b)$$

である。

その虚部 α_w は、ダクトの壁面粘性・熱伝導音響消散による減衰定数で、境界層厚に較べて断面寸法が大きいダクトの場合には、次の Kirchhoff の理論式が知られている。

$$\alpha_w = [R_v + R_h] \frac{L_p}{2\rho c S_D} \quad (2)$$

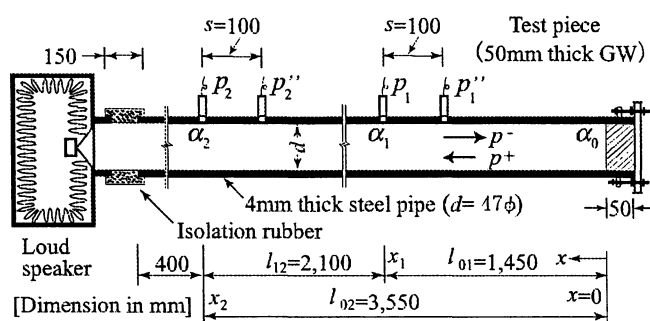


Fig. 1 Test set up

ただし、 ρ は空気の密度、 c は空気の音速、 S_D はダクトの断面積、 L_p はダクトのペリメータ長である。また、

$$R_v = \sqrt{\frac{\rho\omega\mu}{2}}, \quad R_h = \frac{\gamma-1}{\sqrt{\mu c_p / \kappa}} R_v \quad (3)$$

ここで、 ω は角周波数、 μ 、 κ 、 γ 及び c_p は、それぞれ、空気の粘性係数、熱伝導率、比熱比及び定圧比熱である。

4. ISO の管内音響消散補正法 ISO10534 では、試験体の音圧反射率絶対値 $|r_0|$ は、定在波法により試験体側から数えて第 i 番目の極小点の座標を x_i 、定在波比を s_i とすれば、次式

$$|r_0| = e^{2\alpha_w x_i} |r_i| \quad (4a)$$

$$|r_i| = (s_i - e^{\alpha_w \lambda/4}) / (s_i + e^{\alpha_w \lambda/4}) \quad (4b)$$

により求められる。ここで λ は波長、 r_i は x_i における音圧反射率に相当する。伝達関数法の場合にはマイクロホン位置 x_i の音圧反射率 r_i を測定し、その r_i に対して式(4a)の関係により補正を行うことになる。

5. 管壁音響消散理論による補正法 観測面 i から試験体側への音響消散パワー、吸音率及び音圧反射率をそれぞれ P_i 、 α_i 及び r_i 、試験体の音響消散パワー、吸音率及び音圧反射率をそれぞれ P_0 、 α_0 及び r_0 、また、その間の管内の音響消散パワー、及び音響消散率をそれ

*On correction for tube attenuation in impedance tube methods for absorption coefficients.

By TERA0 Michihito, SEKINE Hidehisa and OGAWA Yushi (Kanagawa Univ.).

それぞれ P_{0i} 及び δ_{0i} と書けば

$$P_i = P_0 + P_{0i} \quad (5)$$

$$\alpha_0 = P_0 / P_0^- = 1 - |r_0|^2 \quad (6a)$$

$$\alpha_i = P_i / P_i^- = 1 - |r_i|^2 \quad (6b)$$

$$\delta_{0i} = P_{0i} / P_i^- \quad (6c)$$

ただし、観測面および試験体への入射波の音響パワーをそれぞれ

$$P_0^- = (S_D / \rho c) |p_0^-|^2 / 2 \quad (7a)$$

$$P_i^- = (S_D / \rho c) |p_i^-|^2 / 2 \quad (7b)$$

とする。ここで、試験体・測定面間のダクト長を l_{0i} とし、

$$|p_i^-| = |p_0^- e^{\alpha_w l_{0i}}|, \quad (8a)$$

すなわち、

$$P_i^- = P_0^- e^{2\alpha_w l_{0i}} \quad (8b)$$

の関係を考慮すれば次の補正式が得られる。

$$\alpha_0 = e^{2\alpha_w l_{0i}} (\alpha_i - \delta_{0i}) \quad (9)$$

管内の音響消散率 δ_{0i} 、すなわち、 P_{0i} を求めるには次の表現を適用する[1]。

$$\frac{P_{0i}}{L_p l_{0i}} = \frac{R_v}{2} \int_{x_0}^{x_i} |u|^2 dx + \frac{R_h}{2\rho^2 c^2} \int_{x_0}^{x_i} |p|^2 dx \quad (10)$$

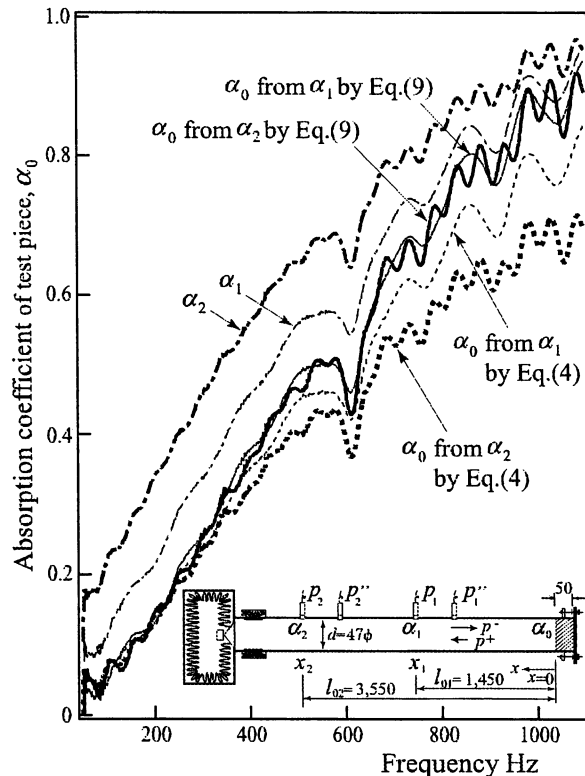


Fig. 2 Measured absorption coefficient

ここで $u = p / \rho c$ であり、管内の音圧 p は、 x_i の位置で測定した音圧反射率 r_i により分離される入射波音圧 p_i^- と反射波音圧 p_i^+ 及び式(1)を用いて行う。

6. 実験結果 実験結果を Fig. 2 に示す。測定面 x_i ($i=1,2$ の 2 位置) の吸音率 α_i ($\alpha_i = 1 - |r_i|^2$) は一点鎖線、試験体(測定面 $x=0$) の吸音率 α_0 ($\alpha_0 = 1 - |r_0|^2$) は、減衰定数 α_w を用いた ISO の補正式(4)による結果を破線、管壁音響消散率 δ_{0i} を用いた補正式(9)による結果を実線で示す。 $x_1 = 1,450\text{mm}$ と $x_2 = 3,550\text{mm}$ の場合を、それぞれ細線と太線として示した。実線、すなわち、管壁音響消散率 δ_{0i} を用いた補正式(9)の場合、試験体の吸音率 α_0 は測定点によらず同一の値が得られている。これは補正式(9)の有効性を示すものである。

一方、破線、すなわち、減衰定数 α_w を用いた ISO の補正式(4)の場合、試験体の吸音率 α_0 は吸音率が 0.3 の程度を超えると、その測定値は測定位置により違ってしまふことになり、有効とはいえない。ISO の補正式(4)は、試験体の吸音率が大きくなるにつれて、吸音率を過小評価する傾向がある。その原因として、補正式(4)は入射波と反射波の両者による減衰を含めているのに対し、実際には試験体の吸音率が大きくなると反射波による音響消散の寄与は著しく低下することが考えられる。なお、試験体にたいし測定面を極端に離さない限り、吸音率が 0.3 程度以下では吸音率測定値の両補正式による違いは少ないとしてよい。以上は、その傾向について $d = 100\text{mm}\phi$ の実験でも同様である。

7. まとめ 減衰定数を用いた ISO10534 の補正式によると、試験体の吸音率が大きくなるに従って吸音率は過小評価され、測定位置による吸音率測定値の違いが大きくなること、一方、管壁音響消散率を用いた新たな補正式は、測定位置に依存しない吸音率測定値を与え有効であることを明らかにした。

参考文献

[1] Morse and Ingard, Theoretical Acoustics, McGraw-Hill, p292, 1968.