消音器の音響減衰測定方法について

ON MEASUREMENT METHODS OF SOUND ATTENUATION OF SILENCERS

板本守正*, 塩川博義**, 奥住 滋***
Morimasa ITAMOTO, Hiroyoshi SHIOKAWA
and Shigeru OKUZUMI

Measurement methods of sound attenuation of silencers are studied to determine data for sound attenuation design of air conditioning systems. Measurement methods of sound attenuation of silencers are standardized in ISO 7235. A large non-reflection termination is needed in this standard. But laboratories with this termination are few in Japan. So in this paper, for suggesting simple and practical measurement methods, several measurement methods (includes that of ISO 7235) are compared and discussed. A substitution method and a direct method are described. A non-reflection termination based on ISO and that of simple type are used in measurement methods.

Keywords: silencer, sound attenuation, insertion loss,
substitution method, direct method,
消音器, 音響減衰, 挿入損失, 置換法, 直接法

1. 緒言

空調設備の消音設計において適切な消音器の選定を行なうためには、その音響減衰^{註1)}特性が必要である。消音器の種類によってはある程度予測できるものもあるが、形状、寸法および内部表面加工などの違いとともにその特性は大きく異なる。そのため実験により各種消音器の減衰量を明確にしなければならない場合が多い。近年、空調ダクト系における騒音制御を目的とした各種消音器の音響減衰特性を明らかにするため、ISO 7235¹⁾が制定され、有風時および無風時における置換法による挿入損失測定方法が規定されている。

しかし、この規格では大がかりな試験設備が規定され、これに対応できる試験機関は日本ではほとんどない。

そこで本報告では、実務上設計データとして必要となる消音器の音響減衰量を簡便かつ実用的に求める測定方法を提案するために、ISO規格の測定方法を含め、いくつかの測定方法および装置を設定し、各種測定方法および装置の違いによる減衰量を比較検討する。

2. 供試体

供試体を図1に示す。スプリッタ型消音器の直管部および曲管部について測定を行なう。外板は建設省基準の厚さより1番手厚い亜鉛鉄板を用い、吸音体は多孔亜鉛鉄板($t=0.6\text{mm}$)内にグラスウール(比重 24kg/m^3)を充填している。また、自由面積比は42%である。

本論文は日本建築学会大会において発表した文献²⁾の内容を再検討し、まとめ直したものである。

* 日本大学生産工学部建築工学科 教授・工博

** 日本大学生産工学部建築工学科 専任講師・工博

*** 日本大学生産工学部建築工学科 副手

Prof., Dept. of Architectural Engineering, College of Industrial Technology, Nihon Univ., Dr. Eng.

Lecturer, Dept. of Architectural Engineering, College of Industrial Technology, Nihon Univ., Dr. Eng.

Research Assoc., Dept. of Architectural Engineering, College of Industrial Technology, Nihon Univ.

3. 無反射端 (Non-ref.termination)

測定には、以下の無反射端2種を用いた。

3.1 ISO無反射端

ISO 7235 (Annex D Figure D.1 a)) に基づいた無反射端である。

3.2 簡易無反射端

供試体と同じ断面を持つ長さ900mmの鉄板ダクト内に、グラスウールを充填したものである。なお、測定ダクトとの接続部の反対側は盲フランジにて閉鎖する。

3.3 ISO無反射端および簡易無反射端の音圧反射係数

ISO 7235 (Annex D D.2) に基づき測定により求めたISO無反射端および簡易無反射端の音圧反射係数を表1に示す。ISOに規定されている最大音圧反射係数と比較すると、ISO無反射端は、各周波数帯域において規定値より小さい値を示す。また、簡易無反射端は、63および125Hz帯域が規定値より大きい値を示すが、他の各周波数帯域においては、規定値より小さい値を示す。また、63~500Hz帯域のいずれにおいても、ISO無反射端より簡易無反射端の方が大きい値を示す。

図1 供試体

表1 各無反射端の音圧反射係数

1/1 オクターブ・バンド	63	125	250	500	
I S O無反射端	0.20	0.12	0.03	0.03	
簡易無反射端	0.42	0.29	0.14	0.10	
1/3 オクターブ・バンド	50	63	80	100	>125
最大音圧反射係数	0.4	0.35	0.3	0.25	0.15

図2 マイクロホンの位置

4. 実験装置および測定方法

本報では、無風時においてISOに規定されている置換法および規格発効に伴い削除され検討事項とされている直接法を用いて測定を行なう。置換法ではISOに規定されている置換ダクトを設置した状態あるいは設置しない状態においてダクト内測定および残響室測定を行ない、また、大がかりな設備の一つであるISO無反射端を設置した状態においてダクト内測定を行なう。直接法では、ISO無反射端あるいは簡易無反射端を設置し、いずれも1/1オクターブ・バンドで測定を行なう。

なお、ISO 7235において規定されている測定方法は全て1/3オクターブ・バンドであるが、本報告では、騒音の評価あるいは他の既存実務資料との適合性を考慮し、1/1オクターブ・バンドで測定を行ない、各測定方法について検討を行なう。

4.1 置換法

実験装置を図3~6に示す。ダクト系(a)は消音器を挿入した状態、(b)は消音器をそれと同じ長さおよび断面の置換ダクトに置き換えた状態、(c)は何も挿入しない状態とする。ただし、曲管部においてはダクト系(b)は行なっていない。各ダクト系ともスピーカより1/1オクターブ・バンドのピンク・ノイズを発生させる。ダクト内測定は、各ダクト系において消音器の下流側測定ダクト内において、図2に示す等間隔5ポイントの音圧レベルを測定し平均する(式(1))。残響室測定は、実験装置図4および6に示すダクト開口端より放射された音の残響室内音圧レベルを測定し平均する。ダクト系(a)と(b)または(c)との測定値の差をそれぞれ求め、それらを挿入損失とする(式(2))。なお、各ダクト系ともスピーカへの入力電圧を等しくしてある。

$$\overline{L_{p \text{lor}} \text{I}} = 10 \log \left[\frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 10^{\frac{L_{p i}}{10}} \right] \quad \dots (1)$$

$$D_i = \overline{L_{p i}} - \overline{L_{p \text{I}}} \quad \dots (2)$$

図3 実験装置 (置換法・無反射端・直管部)

$\overline{L_{pi}}$: 各測定点における音圧レベル [dB]

$\overline{L_{pl}}$: ダクト系(b)または(c)における消音器下流側測定

点ダクト内または残響室内平均音圧レベル [dB]

$\overline{L_{pII}}$: ダクト系(a)における消音器下流側測定ダクト

内または残響室内平均音圧レベル [dB]

図4 実験装置 (置換法・開口端・直管部)

図5 実験装置 (置換法・無反射端・曲管部)

図6 実験装置 (置換法・開口端・曲管部)

D_i : 挿入損失 (Insertion loss) [dB]

4.2 直接法

実験装置を図7および8に示す。ダクト系(a)はISO無反射端、(b)は簡易無反射端を端末に設置し、(c)は端末に何も設置しない開口端とする。各ダクト系ともスピーカより 1/1オクターブ・バンドのピンク・ノイズを発生させる。各ダクト系の測定ダクト内において、図2に示す等間隔5ポイントの音圧レベルを測定し平均する(式(1))。消音器の上流および下流側断面とも同形のため、上流側の測定ダクト内平均音圧レベルより下流側のそれを減じて、その差を音響減衰とする(式(3))。

$$\overline{D_p} = \overline{L_{pI}} - \overline{L_{pII}} \quad \dots (3)$$

$\overline{L_{pI}}$: 消音器上流側測定ダクト内平均音圧レベル [dB]

$\overline{L_{pII}}$: 消音器下流側測定ダクト内平均音圧レベル [dB]

$\overline{D_p}$: 音圧レベル差

(Sound pressure level difference) [dB]

図7 実験装置 (直接法・直管部)

図8 実験装置 (直接法・曲管部)

5. 実験結果および考察

5.1 置換法における置換ダクトの必要性

置換法による直管部の挿入損失を図9および10に示す。図中の(b)－(a)は置換ダクトを挿入した状態、(c)－(a)は何も挿入しない状態よりそれぞれ求めた挿入損失を表わす。置換法における置換ダクトの有無による測定値の差は一部3～4dBを示すが、ダクト内および残響室測定いずれも全帯域においてほぼ同一の値を示す。このことから、1/1オクターブ・バンドの測定では、ダクト内測定および残響室測定とも置換ダクトの有無による測定値への影響はほとんどなく、置換ダクトを設置しない状態の測定でも十分であると考えられる。

5.2 置換法におけるダクト内測定と残響室測定との比較

置換法におけるダクト内測定と残響室測定の挿入損失の比較を図11および12に示す。直管部の挿入損失はそれぞれ置換ダクトを挿入しない状態での値を示す。残響室測定は125Hz帯域で他のものと比較して5dB程度大き

図9 置換法による直管部の挿入損失（ダクト内測定）

図10 置換法による直管部の挿入損失（残響室測定）

い値を示すが、他の周波数帯域ではいずれもほぼ同様の傾向を示す。ダクト内測定は無反射端の有無による大きな差はなく、全帯域においてほぼ同一の値を示す。

5.3 直接法における無反射端の種類および有無による音響減衰への影響

直接法による音響減衰を図13および14に示す。ISO無反射端を設置した状態での音響減衰と他のそれとを比較すると、直管部では125Hz帯域において簡易無反射端での測定値が3dB程度小さいが、他の周波数帯域においてはほぼ同一の値を示す。曲管部では直管部に比べばらつきがあり、250～4kHz帯域において開口端での測定値が2～3dBの差を示す。全体的には直管部および曲管部いずれも無反射端の種類および有無に関係なく1kHz帯域にピークを有する山形の傾向を示す。

このことから、直接法における1/1オクターブ・バンドの測定では、無反射端の種類および有無による測定値への大きな影響はないと考えられる。

図11 置換法におけるダクト内測定と残響室測定との比較（直管部）

図12 置換法におけるダクト内測定と残響室測定との比較（曲管部）

5. 4 直接法による音響減衰と置換法による挿入損失との比較

直接法による音響減衰（ISO無反射端設置時）と置換法によるダクト内測定（ISO無反射端設置時）および残響室測定（開口端時）との比較を図15および16に示す。直管部では、直接法と置換法によるダクト内測定とを比較すると、125, 1kおよび4kHz帯域において前者が後者より4～5dB大きな値を示し、また、直接法と置換法による残響室測定とを比較すると、1k, 4kおよび8kHz帯域において前者が後者より4dB程度大きな値を示す。曲管部では、直接法と置換法によるダクト内測定とを比較すると、500～2kHz帯域において前者が後者より3～4dB程度大きな値を示し、また、直接法と置換法による残響室測定とを比較すると、125Hz帯域においては後者の方が前者より3dB程度大きく、2kおよび8kHz帯域においては前者が後者より4～5dB大きい値を示す。

このように、直接法と置換法とを比較すると、直管部および曲管部とも中～高音域において前者が後者よりも大きな値を示し、大きいものでは5dB程度の差を示す。

図13 直接法による音響減衰（直管部）

図14 直接法による音響減衰（曲管部）

6. 結論

1/1オクターブ・バンドの測定における消音器の音響減衰測定方法について、特徴を以下に示す。

- 1) 置換法において直管部の挿入損失を得る場合、置換ダクトの有無による測定値は、低音域において3～4dB程度の差を示すが、他の周波数においてほぼ同一の値を示し、置換ダクトを設置しなくても、ほぼ同様の結果が得られる。
- 2) 置換法におけるダクト内測定では、ダクト系端末（ISO無反射端および開口端）の違いによる測定値の差は2dB以下であり、大がかりなISO無反射端を設置しなくてもほぼ同様の結果が得られる。
- 3) 直接法における無反射端の違い（ISO無反射端および簡易無反射端）および無反射端の有無による測定値に大きな差はなく、簡易無反射端における測定でも十分である。
- 4) 消音器の自由面積比が小さい場合、ダクト内で測定を行なう直接法および置換法におけるダクト内測定の測定値と残響室法のそれとの差は、約5dBの範囲内で一致すると考えられる。

図15 直接法による音響減衰と置換法による挿入損失との比較（直管部）

図16 直接法による音響減衰と置換法による挿入損失との比較（曲管部）

注1) 本報告中の音響減衰 (Sound attenuation) は、挿入損失 (Insertion loss) や直接法により求めた音圧レベル差 (Sound pressure level difference) などの用語を包含する広義の用語として用いる。また、これに伴い、直接法において求める供試体上下流測定ダクト内の音圧レベル差を「直接法による音響減衰」と呼ぶこととする。

謝辞

本研究のISO無反射端の製作にあたり、日本ノイズ・コントロール K. K. の飯島和俊氏のご協力をいただいた。また、実験に際しては、当時日本大学の大学院生、卒論生諸君の労を多とした。ここに記して深謝する。

参考文献

- 1) ISO 7235: Acoustics—Measurement procedures for ducted silencers—Insertion loss, flow noise and total pressure loss
- 2) 板本守正、堀川博義、奥住滋：消音器の音響減衰測定方法について、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp1551～1552、1994.9

(1995年4月10日原稿受理, 1995年10月31日採用決定)