連続消音エルボの音響減衰について

ON SOUND ATTENUATION OF DOUBLE LINED ELBOWS

板本守正*, 塩川博義**, 浦田香織***

Morimasa ITAMOTO, Hiroyoshi SHIOKAWA and Kaori URATA

Sound attenuation data of double lined elbows to be used for acoustic design in air duct systems are few, so the total of sound attenuation values for two single lined elbows is generally used.

In this paper, for evaluating sound attenuation of double lined elbows, insertion loss values for 37 kinds of double lined elbows are measured. They are formed from three combinations for two single lined elbows, three kinds of connection directions and seven kinds of duct lengths between the two elbows. Those insertion loss values measured are compared with the total of sound attenuation values for two single lined elbows.

Keywords: Air-duct systems, Double lined elbows, Sound attenuation, Insertion loss

ダクト系, 連続消音エルボ, 音響減衰, 挿入損失

1. 緒言

わが国では, ダクト内を通過する騒音を減衰させるために消音エルボを用いる場合が多い。また, 消音エルボ1個では十分な音響減衰が得られない場合, 消音エルボを連続して用いることが考えられる。連続したエルボの損失圧力については, 伊藤¹⁾および佐藤²⁾により系統的な研究が行なわれている。それによれば, 連続エルボの損失圧力は2つの単体エルボのそれらを加算した値にはならない。連続エルボの音響減衰については, Lippert³⁾, 勝田・後藤⁴⁾および寺尾⁵⁾などにより, 連続消音エルボの音響減衰については, 根来・曾根⁶⁾などにより研究が行われているが, 空調ダクト系の消音設計に用いることができる音響減衰量のデータはほとんどない。そのため, 実際の空調ダクト系における消音設計で用いられる連続消音エルボの音響減衰量は, 2つの単体消音エルボのそれらを加算したものをを用いるのが現状である。しかし, 連続消音エルボの音響減衰量が2つの単体消音エルボのそれらを加算した値となるかどうかは明確でない。

そこで, 空調ダクト系の消音設計用データの体系化をはかるために, 本実験では2種類の消音エルボを用いて3種類の連続消音エルボの組合せを作り, 接続方向を3方向およびエルボ間のダクトの長

さを変化させて, それぞれの連続消音エルボの音響減衰量を求めた。また, それらと2つの単体消音エルボの音響減衰量を加算した値とを比較検討したので, その結果を報告する。

2. 供試体の種類

消音エルボを図1に示す。消音エルボは断面寸法 600×600mm の Elbow A と, 断面寸法 600×600mm でスプリッタ・ベーン付きの Elbow As の2種類で, いずれも内部吸音体は, 背後に空気層 50mm を有する厚さ 50mm, 密度 32kg/m³ のグラス・ファイバで構成されている。

図2に連続消音エルボの接続方向を示す。0° 方向はS字型, 90° 方向はねじれS字型, 180° 方向はU字型である。

また, その組合せは, A+A, As+A および A+As の3通りである。

表1に供試体の表記方法を定義する。一例を挙げると, 供試体「0°-AA-0」は消音エルボの接続方向が0°, 消音エルボの組合せがA+A, 消音エルボ間のダクトの長さが0mmであることを示す。

3. 実験装置および方法

3-1. 単体消音エルボ

実験装置は図3に示すダクト系(a)と(b)とを用いる。いずれもス

本論文は日本建築学会大会において発表した文献^{7)~10)}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 助教授・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.

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

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

表 1 供試体の種類

Test unit	Connection	Combination	L [mm]
0° -A A - 0	0°	A + A	0
0° -A A - 600	0°	A + A	600
0° -A A - 900	0°	A + A	900
0° -A A -1300	0°	A + A	1300
0° -A A -1700	0°	A + A	1700
0° -A A -2000	0°	A + A	2000
0° -A A -2400	0°	A + A	2400
0° -As A - 0	0°	As + A	0
0° -As A - 600	0°	As + A	600
0° -As A - 900	0°	As + A	900
0° -As A -1300	0°	As + A	1300
0° -As A -2400	0°	As + A	2400
0° -A As- 0	0°	A + As	0
0° -A As- 600	0°	A + As	600
0° -A As- 900	0°	A + As	900
0° -A As-1300	0°	A + As	1300
0° -A As-2400	0°	A + As	2400
90° -A A - 0	90°	A + A	0
90° -As A - 0	90°	As + A	0
90° -A As- 0	90°	A + As	0
180° -A A - 0	180°	A + A	0
180° -A A - 600	180°	A + A	600
180° -A A - 900	180°	A + A	900
180° -A A -1300	180°	A + A	1300
180° -A A -1700	180°	A + A	1700
180° -A A -2000	180°	A + A	2000
180° -A A -2400	180°	A + A	2400
180° -As A - 0	180°	As + A	0
180° -As A - 600	180°	As + A	600
180° -As A - 900	180°	As + A	900
180° -As A -1300	180°	As + A	1300
180° -As A -2400	180°	As + A	2400
180° -A As- 0	180°	A + As	0
180° -A As- 600	180°	A + As	600
180° -A As- 900	180°	A + As	900
180° -A As-1300	180°	A + As	1300
180° -A As-2400	180°	A + As	2400

L: Duct length between two elbows

ピーカから 1/1 オクターブ・バンド・ノイズを発生させ、残響室内平均音圧レベルを測定する。消音エルボの挿入損失はダクト系 (b) の残響室内平均音圧レベルからダクト系 (a) のそれを減じて求める。なお、各ダクト系ともスピーカへの入力電圧は等しくしてある。

3-2. 連続消音エルボ

実験装置は図 3 に示すダクト系 (c) と (d) ~ (f) とを用いる。いずれもスピーカから 1/1 オクターブ・バンド・ノイズを発生させ、残響室内平均音圧レベルを測定する。連続消音エルボの挿入損失はダクト系 (d) ~ (f) の残響室内平均音圧レベルからダクト系 (c) のそれを減じて求める。なお、連続消音エルボ接続方向の 90° は実験室の関係により、エルボ間距離 0mm のみ測定を行った。また、各ダクト系ともスピーカへの入力電圧は等しくしてある。

図 1 消音エルボ

図 2 連続消音エルボの接続方向

4. 実験結果および考察

4-1. 単体消音エルボ

単体消音エルボの挿入損失を図4に示す。63および125Hz帯域の低音域ではElbow AおよびAsともに、ほぼ等しい値を示す。250Hz帯域以上の中～高音域ではElbow Aの挿入損失がElbow Asのそれよりも2～5dB程度大きい。これはElbow Asのスプリッタ・ベーンにより一部の中～高音域があまり吸音されずにエルボ内を通過するためと考えられる。

図3 実験装置

4-2. 連続消音エルボ

接続方向0°で連続消音エルボAA, AsAおよびAAsの挿入損失を使用されている2つの単体消音エルボの挿入損失を加算した値とともにそれぞれ図5, 6および7に示す。いずれのダクト系においても挿入損失の測定値は63および125Hz帯域で10dB前後、250Hz帯域以上で20dB前後から25dBの間でフラットな特性を示す。

図4 単体消音エルボの挿入損失

図5 連続消音エルボ0°-AAの挿入損失

図6 連続消音エルボ0°-AsAの挿入損失

図7 連続消音エルボ0°-AAsの挿入損失

1kHz 帯域以上で測定値と加算値とを比較すると、連続消音エルボ AA ではエルボ間距離 600mm を除けば、前者が後者より 3～5dB 程度小さいが、スプリッタ・ベーン付きエルボ As を用いた連続消音エルボ AsA および AAs では、いずれも両者の差は小さい。

すべての組合せにおいて 125Hz 帯域を除く 500Hz 帯域以下での測定値は、加算値より 5～8dB 大きく、125Hz 帯域での両者の値はほぼ等しい。

接続方向 180° で連続消音エルボ AA, AsA および AAs の挿入損失を使用されている 2 つの単体消音エルボの挿入損失を加算した値とともにそれぞれ図 8, 9 および 10 に示す。

63Hz 帯域では、連続消音エルボ AA の挿入損失は接続方向 0° の場合と異なり、5～14dB の範囲でエルボ間距離により値が分散する。また、スプリッタ・ベーン付きエルボ As を用いた連続消音エルボ AsA および AAs の挿入損失は、一部を除き 10dB 前後を示す。125Hz 帯域では、連続消音エルボ AA の挿入損失は 10dB 前後を示し、連続消音エルボ AsA および AAs のそれらは 12dB 前後を示す。連続消音エルボ AA の挿入損失はエルボ間距離 0mm を除けば、250～4kHz 帯域で

は、20dB 前後から 25dB の間でフラットな特性を示し、8kHz 帯域では、15dB 前後を示す。スプリッタ・ベーン付きエルボ As を用いた連続消音エルボ AsA および AAs の挿入損失は、250Hz 帯域以上で一部を除き、20dB 前後から 25dB の間でフラットな特性を示す。

1kHz 帯域以上で測定値と加算値とを比較すると、連続消音エルボ AA ではエルボ間距離 0mm を除けば、前者の方が後者よりも小さく、その差は大きいところで 5dB 程度ある。しかし、スプリッタ・ベーン付きエルボ As を用いた連続消音エルボ AsA および AAs では、両者の差は小さい。

また、すべての組合せにおいて 125Hz 帯域を除く 500Hz 帯域以下の低～中音域では、測定値の方が加算値より 5～8dB 大きく、125Hz 帯域での両者の値は 1dB 前後の差を示す。

接続方向 0° および 180° いずれにおいても、全体的に見て、平面波理論の適用限界 $a = \lambda/2$ ($a=600\text{mm}$) の周波数 $f=283\text{Hz}$ を含む 250Hz 帯域の 2 倍である 500Hz 帯域までの測定値と加算値との特性は異なり、1kHz 帯域以上では、両者はフラットな特性を示す。

エルボ間距離 0mm の各組合せによる挿入損失を使用されている 2

図8 連続消音エルボ180°-AAの挿入損失

図11 連続消音エルボAA-0の挿入損失

図9 連続消音エルボ180°-AsAの挿入損失

図12 連続消音エルボAsA-0の挿入損失

図10 連続消音エルボ180°-AAsの挿入損失

図13 連続消音エルボAAs-0の挿入損失

つの単体消音エルボの挿入損失を加算した値とともにそれぞれ図 11, 12 および 13 に示す。

連続消音エルボ AA の挿入損失は、スプリッタ・ベーン付きエルボ As を用いた連続消音エルボ AsA および AAs のそれらと比較して、全体的に見ると、いずれの周波数においても 0° , 90° および 180° の 3 方向における測定値の差が大きい。また、 90° -AsA-0 における測定値は、2kHz 帯域以上の高音域で他の接続方向のそれらより 3~4dB 大きい。

90° における挿入損失の測定値と加算値とを比較すると、いずれにおいても 125Hz 帯域を除く全ての周波数帯域で前者は後者より大きい値を示す。

今回の測定結果によれば、連続消音エルボの設計において 2 つの単体消音エルボの挿入損失を加算して用いる場合、1kHz 帯域以上では全体的に測定値が加算値より小さいため危険側になり、125Hz 帯域を除く 500Hz 帯域以下では測定値が加算値に比べて大きいため安全側になる結果が得られた。また、スプリッタ・ベーン付きエルボを用いた場合、1kHz 帯域以上では測定値と加算値との差が小さくなる。

5. 結論

今回実験を行なった 2 つの消音エルボ (断面寸法 600×600mm) による連続消音エルボの特徴を以下にまとめる。

- 1) 連続消音エルボの挿入損失は、63~125Hz 帯域で約 10dB、250Hz 帯域以上の中~高音域では 15dB 前後から 25dB 前後の間を示す。
- 2) 0° , 90° および 180° に接続方向を変化させた場合、スプリッタ・ベーンのないエルボのみを用いた連続消音エルボにおいては、全周波数帯域において 3 方向の挿入損失の差は大きい、スプリッタ・ベーン付きエルボを用いた連続消音エルボにおいてはのそれらは小さい。
- 3) 接続方向 0° および 180° いずれにおいても、全体的に見て、平面波理論の適用限界 $a=\lambda/2$ ($a=600\text{mm}$) の周波数 $f=283\text{Hz}$ を含む 250Hz 帯域の 2 倍である 500Hz 帯域までの測定値と加算値との特性は異なり、1kHz 帯域以上では、両者はフラットな特性を示す。
- 4) 125Hz 帯域を除く 500Hz 帯域以下においては、スプリッタ・ベーンの有無によらず、連続消音エルボの挿入損失の測定値は加算値より大きく、125Hz 帯域での測定値は加算値とほぼ等しい。

- 5) 1kHz 帯域以上において、スプリッタ・ベーンのないエルボのみを用いた連続消音エルボの挿入損失の測定値は、一部を除き加算値より小さい。また、スプリッタ・ベーン付きエルボを用いた連続消音エルボの挿入損失の測定値と加算値との差は、スプリッタ・ベーンのないエルボのみを用いたそれらより小さくなる。

今後、連続消音エルボの消音設計用データを整備するにあたり、消音エルボの種類や断面寸法、接続距離が異なる場合について同様な測定を行い、また、気流による発生騒音についても検討する必要がある。

謝 辞

本研究にあたり、東洋熱工業KKの田中康雄、後藤昌司、遠藤康司、濱田彰の各氏 (当時) のご協力を頂いた。また、本実験において当時日大助手であった飯島和俊氏 (現KKスペーススウエア)、日本大学の大学院生、卒論生の諸君の労を多とした。ここに記して深謝する。

参考文献

- 1) 例えば、伊藤英覚：曲管内の流れとその損失；日本機械学会誌第 62 巻第 490 号，pp46-55，1959.11
- 2) 例えば、佐藤雄二：等流量分配管ならびに集合管；日本機械学会論文集 (第 3 部) 第 25 巻第 157 号，pp927-938，1959.9
- 3) 例えば、W.K.R.Lippert：A NEW METHOD OF COMPUTING ACOUSTICAL FILTERS；ACUSTICA Vol.4, No.4, pp411-420，1954.
- 4) 勝田高司、後藤滋：正方形断面直角曲がりダクトによる音響減衰について；日本建築学会大会学術講演要旨集，pp237，1962.9
- 5) 例えば、寺尾道仁、関根秀久、田辺滋樹：反射波を利用したダクト網の音響伝搬計算法について；日本音響学会講演論文集，第Ⅱ巻，pp511-512，1980.9
- 6) 例えば、根来健夫、曾根敏夫、三村忠元： 180° 曲がりダクトの減音に関する考察；電気学会論文誌，Vol.94-C, No.11, pp17-24，1974.
- 7) 板本守正、他 2 名：単一および連続消音エルボの損失圧力および音響減衰について (連続消音エルボの性能に関する研究・第 1 報)；日本建築学会大会学術講演梗概集，pp111-112，1981.9
- 8) 板本守正、他 2 名：消音エルボの気流および音響特性について (連続消音エルボの性能に関する研究・第 2 報)；日本建築学会大会学術講演梗概集，pp181-182，1982.10
- 9) 板本守正、他 2 名：連続消音エルボの損失圧力および音響減衰について (連続消音エルボの性能に関する研究・第 3 報)；日本建築学会大会学術講演梗概集，pp101-102，1984.10
- 10) 板本守正、他 2 名：連続消音エルボの発生騒音について (連続消音エルボの性能に関する研究・第 4 報)；日本建築学会大会学術講演梗概集，pp103-104，1984.10

(1999年9月2日原稿受理，2000年6月5日採用決定)