グラス・ファイバ・ダクト直管部の音響特性について

ON SOUND CHARACTERISTICS OF STRAIGHT GLASS FIBER DUCTS

塩川 博義*, 板本 守正**

Hiroyoshi SHIOKAWA and Morimasa ITAMOTO

Sound radiation from side wall of glass fiber ducts is studied by measuring complex sound intensity in sound field outside side wall.

The sound from side wall radiates much more within about 1 meter in the length of glass fiber ducts from joint with steel ducts.

For evaluating sound characteristics of straight glass fiber ducts, nine kinds of test units (round, regular polygon and square section ducts, each of them have three kinds of ducts.) are studied.

By the difference in their duct section types sound attenuation and sound insulation characteristics of side wall are compared and discussed.

Keywords : *glass fiber duct, sound radiation, complex sound intensity, sound attenuation, sound insulation characteristics*

グラス・ファイバ・ダクト, 音響放射, 複素音響インテンシティ, 音響減衰, 遮音特性

1. 緒 言

我々は、グラス・ファイバ・ダクト系の設計を合理的に行うための基礎的な設計データを得るために、それらの気流および音響特性に関する研究^{1)~3)}を行ってきた。

その音響特性で、グラス・ファイバ・ダクト直管部を鉄板ダクトに接続して用いるときに、ダクト断面寸法が小さいほど、その接続直後1m以内の音響減衰とそれ以降の音響減衰に大きな差が生じることが分かった。また、ダクト内から外への遮音特性も鉄板ダクト接続直後1m以内ではほぼ決まることも分かった¹⁾。これらは、鉄板ダクトから伝搬してきた音響エネルギーが、ほとんど1m以内でダクト外へ放出されるものと考えられる。

しかし、この鉄板ダクト接続直後1mという距離は、実務的なダクト設計に便利のように、測定結果から1mとしているのみで、1m前後でどのような音響放射がなされているか定かでない。

そこで、本研究では、まず、グラス・ファイバ・ダクト側壁外側の放射音場において複素音響インテンシティを測定し、それらのベクトル・マップを作成して、1mという距離が妥当かどうか検討する。

さらに、これらをふまえて、新たなグラス・ファイバ・

ダクト直管部の音響減衰とダクト側壁の遮音特性とを明らかにし、それらを断面形状の違いにより比較検討を行い、グラス・ファイバ・ダクト直管部の消音設計を合理的に行うための基礎的資料としてまとめたので報告する。

2. 供試体の種類

供試体を図—1に示す。供試体は円形、多角形（正十角形）および正方形断面ダクト直管部がそれぞれ3種ずつ合計9種類で、以後、いずれも供試体は、断面形状（円形：R、多角形：P、正方形：S）および断面寸法（円形は直径、多角形は内接する円の直径、正方形は一辺の長さ）の組合せで表す。例えば、正方形断面ダクトで断面寸法200×200は、S-200とする。

側壁を構成するグラス・ファイバは、いずれも厚さ25mm、密度64kg/m³である。外表面は、クラフト紙をグラス・ウール表面に接着し、グラス・ヤーンおよびアルミ箔で補強しており、内表面は、円形断面ダクトは仕上げをせず、多角形断面ダクトはグラス・シートを、正方形断面ダクトは不織布を張り付けて処理している。

また、各実験時におけるグラス・ファイバ・ダクトおよび鉄板ダクトの取り付け方法は、現場での施工方法と

本論文は日本建築学会において発表した文献5)~7)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 専任講師・工修

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

** 日本大学生産工学部建築工学科 教授・工博

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

同様にいう。

3. ダクト側壁からの音響放射

グラス・ファイバ・ダクト側壁外側の放射音場の測定は、円形および正方形断面ダクトで行っており、多角形断面ダクトの測定は行っていない。

3.1 供試体の音響特性

円形および正方形断面ダクトのダクト内法¹⁾により求めた鉄板ダクト接続直後1m以内および以降の音響減衰を図-2および3に、残響室法¹⁾で求めた長さ1mおよび4.6mのダクト内から外への遮音特性(R-200, S-300およびS-600のみ)を図-4に示す。図-2および3によれば、鉄板ダクト接続直後1m以内の音響減衰がそれ以降の音響減衰より大きいという特徴が、断面寸法の小さいダクトの1kおよび2kHz帯域に顕著に見られる。また、図-4によれば、いずれも、長さ1mおよび4.6mの遮音特性は、ほぼ同様な傾向を示す。

3.2 実験装置および方法

測定は無響室で行う。実験装置を図-5に示す。鉄板ダクト上流側に取り付けたスピーカよりピンク・ノイズを発生させ、測定面は、側壁(円形断面ダクトは側壁に

接する面)と垂直なダクト内中心軸を含む断面内とし、図-5に示す測定点で直交する2方向のアクティブおよびリアクティブ・インテンシティ・レベルを測定する。

本来、実際の音響パワー・フローを表すのみならず、ア

図-2 円形断面ダクトの音響減衰

図-3 正方形断面ダクトの音響減衰

図-4 ダクト内から外へ透過する場合の遮音特性

図-1 供試体の種類

Type	A	B
R-200	80	240
R-300	120	240
R-600	130	390
S-200	100	225
S-300	100	275
S-600	100	425

図-5 実験装置および測定点

図—6 R-200 のベクトル・マップ (125 Hz)

図—7 R-200 のベクトル・マップ (500 Hz)

図—8 R-200 のベクトル・マップ (2 kHz)

図—9 R-300 のベクトル・マップ (125 Hz)

クティブ・インテンシティを測定すればよいが、側壁からの音響放射の位置をより明確に把握するためにリアクティブ・インテンシティも同時に測定した。

3.3 測定結果および考察

軸方向における R-200 および S-200 の 125, 500 および 2 kHz 帯域, R-300 および S-300 の 125, 1 k および 2 kHz 帯域, R-600 および S-600 の 500 および 2 kHz 帯域のアクティブおよびリアクティブ・インテンシティの

図—10 R-300 のベクトル・マップ (1 kHz)

図—11 R-300 のベクトル・マップ (2 kHz)

図—12 R-600 のベクトル・マップ (500 Hz)

図—13 R-600 のベクトル・マップ (2 kHz)

ベクトル・マップ (ベクトルの長さは、インテンシティの大きさを表すが、ひとつの図の中で、最大のものを基準として相対的に表しているの、その図中のみ大きさの比較ができる) を図—6～21 に示す。

リアクティブ・インテンシティは、3 列とも測定を行っているが、側壁から 2 および 3 列目では、ほぼ平面波になるものと考えられ、いずれの図においてもリアクティブ・インテンシティの値は測定してもほとんど出て

図—14 S-200 のベクトル・マップ (125 Hz)

図—15 S-200 のベクトル・マップ (500 Hz)

図—16 S-200 のベクトル・マップ (2 kHz)

図—17 S-300 のベクトル・マップ (125 Hz)

図—18 S-300 のベクトル・マップ (1 kHz)

図—19 S-300 のベクトル・マップ (2 kHz)

図—20 S-600 のベクトル・マップ (500 Hz)

図—21 S-600 のベクトル・マップ (2 kHz)

こない。そこで、ここでは1列目のみ表示する。

図—6および9に示すR-200および300の125 Hz帯域では、アクティブ・インテンシティのみを見れば、ほぼ1 m以内で音響放射が行われており1 m以降は不明瞭であるが、リアクティブ・インテンシティを見れば1 m以降もベクトルの放射^(注1)が見られる。これは、図—2に示すR-200および300の125 Hz帯域における1 m以

内と以降との音響減衰がほぼ等しい(レベル的には、いずれもほとんど0 dBである)ことと対応する。これに対して、図—14および17に示すS-200および300の125 Hz帯域では、アクティブおよびリアクティブ・インテンシティいずれもほぼ1 m以内でベクトルの放射が見られる。これは、図—3に示すS-200および300の125 Hz帯域における1 m以内の音響減衰が1 m以降の

それより数 dB 大きいことと対応する。

R-200 および S-200 の 500 および 2 kHz 帯域, R-300 および S-300 の 1 k および 2 kHz 帯域は, アクティブおよびリアクティブ・インテンシティいずれもベクトルの放射は, ほぼ 1 m 以内で大きく行われている。

また, R-600 および S-600 の 500 Hz 帯域は, 図—2 に示す前者の 1 m 以内と以降との音響減衰は等しいが, アクティブおよびリアクティブ・インテンシティいずれもほぼ 1 m 以内でベクトルの放射が見られる。R-600 および S-600 の 2 kHz 帯域では, 前者はリアクティブ・インテンシティを見れば 1 m 以内および以降いずれもベクトルの放射が見られる。後者は, リアクティブ・インテンシティにおいては前者ほど特徴がないが, アクティブ・インテンシティにおける壁面に対して垂直方向のベクトルの放射が小さい。これらは, 1 m 以内と以降との音響減衰がほぼ等しいことと対応する。

このように, 音響減衰とベクトル・マップとの特徴がすべて対応しているわけではないが, いずれにしても, 音響減衰あるいはダクト内から外の遮音特性を考える場合に用いた 1 m という距離は妥当と考えられる。

4. 供試体の諸特性

今回の供試体は, 断面形状が, 円形, 多角形 (正十角形) および正方形の 3 種類ある。

グラス・ファイバ・ボードを現場で加工して製作できる正方形あるいは長方形断面ダクトに比べて, 円形断面ダクトは, 初めから工場で製作して現場に運ばなければならない, 運搬に際し非常にかさばる。正方形断面ダクトと同様に製作できる多角形断面ダクトは, このような円形断面ダクトの不便さを解消でき, かつ円形断面ダクトにより近い性能が得られるものとして開発された。

そこで, この多角形断面ダクトの音響特性を明らかにし, 円形断面および正方形断面ダクトとともに 3 種類の寸法 (200, 300 および 600) に統一して (円形は直径, 多角形は内接する円の直径, 正方形は一辺の長さ), 断面形状の違いによる音響特性の比較検討をした。

今回の供試体について, 既報¹⁾で示した実験方法で求めた音響減衰および遮音特性を以下に示す。

4.1 音響減衰

供試体を鉄板ダクトと接続したとき, 鉄板ダクトと接続してから 1 m 以降の音響減衰の傾きから求めた単位長さ (1 m) 当たりの音響減衰を図—22~24 に示す。断面寸法 200 のグループでは 1 k および 2 kHz 帯域, 300 のグループでは 1 kHz 帯域, 600 のグループでは 500 Hz 帯域で, いずれも円形断面ダクトが大きい減衰量を示すが, 他の周波数帯域では 3 者ともほぼ同様な傾向を示す。

また, 鉄板ダクト接続直後 1 m までの音響減衰を図—25~27 に示す。上記の 1 m 以降の音響減衰と同様に,

図—22 単位長さ (1 m) 当たりの音響減衰 (200)

図—23 単位長さ (1 m) 当たりの音響減衰 (300)

図—24 単位長さ (1 m) 当たりの音響減衰 (600)

図—25 鉄板ダクト接続直後 1 m の音響減衰 (200)

図—26 鉄板ダクト接続直後 1 m の音響減衰 (300)

200 のグループでは 1 k および 2 kHz 帯域で, 300 のグループでは 1 kHz 帯域で円形断面ダクトが大きい減衰量を示すが, 125~500 Hz 帯域では, 逆に円形断面ダクトが他の 2 者に比べて減衰量が小さい。600 のグループ

図—27 鉄板ダクト接続直後 1 m の音響減衰 (600)

図—28 ダクト内から外へ透過する場合の遮音特性 (200)

図—29 ダクト内から外へ透過する場合の遮音特性 (300)

図—30 ダクト内から外へ透過する場合の遮音特性 (600)

では 3 者ともほぼ同様な傾向を示す。

全体的に見て、多角形断面ダクトの音響減衰は、円形断面ダクトのそれより正方形断面ダクトのそれに近い値を示す傾向にある。

4.2 遮音特性

鉄板ダクトに接続したとき、鉄板ダクトから供試体への入射パワーレベルと鉄板ダクトと接続されてから 1 m 以内のダクト側壁からの透過パワーレベルとの差を図—

図—31 ダクト外から内へ透過する場合の遮音特性 (200)

図—32 ダクト外から内へ透過する場合の遮音特性 (300)

図—33 ダクト外から内へ透過する場合の遮音特性 (600)

28～30 に示す。断面寸法 200 および 300 のグループでは 1 kHz 帯域以下で円形断面ダクトが他の 2 者に比べてかなり大きな値を示し、600 のグループにおいても 250 Hz 帯域以下ではほぼ同様な傾向を示す。低音域では円形、多角形、正方形の順で値が小さくなり、断面寸法が大きくなるに従って、3 者の値の差が小さくなる。高音域では、低音域ほどの差は 3 者にはないが、200 のグループを除けば 2 kHz 帯域以上では正方形、多角形、円形の順で値が小さくなる。

ダクト外からダクト長 4.6 m の供試ダクト側壁への入射パワーレベルとダクト内パワーレベルとの差から単

位長さ (1 m) 当たりのパワーレベル差を求めたものを図-31~33に示す。傾向としては、ダクト内から外の遮音特性とほぼ同様である。断面寸法 200 および 300 のグループでは 500 Hz 帯域以下で円形断面ダクトが他の 2 者に比べてかなり大きな値を示し、低音域にいくに従って値が大きくなる。低音域では、円形、多角形、正方形の順で値が小さくなり、断面寸法が大きくなるに従って、3 者の値の差が小さくなる。高音域では、比較的 3 者の差は小さく、ほぼ同様な傾向を示す。

全体的に見て、多角形断面ダクトの遮音特性は、音響減衰と同様に、円形断面ダクトのそれより正方形断面ダクトのそれに近い値を示す傾向にある。

5. 結 論

今回実験を行ったグラス・ファイバ・ダクト直管部の特徴を以下にまとめる。

- 1) 断面寸法が小さい 200 および 300 では、円形断面ダクトが 500 Hz 帯域以上で、正方形断面ダクトが 125 Hz 帯域以上で、鉄板ダクト接続 1 m 以降より以内の音響減衰が大きくなる。これらの特徴は、グラス・ファイバ・ダクト側壁からの音響放射におけるインテンシティのベクトル・マップにも現れている。
- 2) 音響減衰とベクトル・マップとの特徴がすべて対応しているわけではないが、ベクトル・マップからも音響減衰あるいはダクト内から外の遮音特性を考える場合に用いた 1 m という距離は妥当と考えられる。
- 3) 鉄板ダクト接続 1 m 以降の単位長さ (1 m) 当たりの音響減衰は、断面寸法 200 のグループでは 1 k および 2 kHz 帯域、300 のグループでは 1 kHz 帯域、600 のグループでは 500 Hz 帯域で、いずれも円形断面ダクトが大きい減衰量を示すが、他の周波数帯域では 3 者ともほぼ同様な傾向を示す。
- 4) 鉄板ダクト接続直後 1 m までの音響減衰は、1 m 以降の音響減衰と同様に、200 のグループでは 1 k および 2 kHz 帯域で、300 のグループでは 1 kHz 帯域で円形断面ダクトが大きい減衰量を示すが、125~500 Hz 帯域においては、逆に円形断面ダクトが他の 2 者に比べて減衰量が小さい。600 のグループでは 3 者ともほぼ同様な傾向を示す。
- 5) ダクト側壁の遮音特性では、ダクト内から外あるいは外から内いずれにおいても、低音域では円形、多角形、正方形の順で値が小さくなり、断面寸法が大きくなるに従って、3 者の値の差が小さくなる。高音域では、比較的 3 者の差は小さく、ほぼ同様な傾向を示す。
- 6) 多角形断面ダクトは、音響特性において円形断面ダ

クトにより近い性能が得られるものとして開発されたが、その性能は正方形断面ダクトに近く、円形断面ダクトと同様の性能として使用するのは危険である。

謝 辞

本研究にあたり、グラスロン・ダクト K.K. の加藤孝義氏、マイクロ・ダクト・システム K.K. の田村浩一氏に多大のご協力をいただいた。また、本実験において、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。

注

- 1) 本論文では、参考文献 4) を参照して、ベクトル・マップでベクトルが放射状になっている場合、ベクトルの放射という表現を用いている。これは、アクティブ・インテンシティの場合、音響放射として扱うことができるが、リアクティブ・インテンシティの場合、前者と異なり、それ自体を一言で表現しがたいからである。リアクティブ・インテンシティは、定在波音場や音源近傍などで存在し、ベクトルが放射状に現れている場合などは音源位置が同定できる。

参考文献

- 1) 板本守正, 塩川博義: グラス・ファイバ・ダクト直管部, 曲管部および分岐部の気流および音響特性について, 日本建築学会計画系論文報告集, 第 397 号, pp. 9~22, 1989. 3
- 2) 板本守正, 塩川博義: グラス・ファイバ・ダクト直管部の気流による発生騒音について, 日本建築学会計画系論文報告集, 第 428 号, pp. 21~27, 1991. 10
- 3) 板本守正, 塩川博義: グラス・ファイバ・ダクトを吸音体として用いたセル型消音器の気流および音響特性について, 日本建築学会計画系論文報告集, 第 441 号, pp. 1~8, 1992. 11
- 4) 日高新人, 安久司郎, 橘 秀樹: 複素音響インテンシティによる音場解析, 日本音響学会誌, 43 巻 12 号, pp. 994~1000, 1987. 12
- 5) 板本守正, 塩川博義: グラス・ファイバ・ダクト側壁からの音響放射の視覚化, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 407~408, 1991. 9
- 6) 板本守正, 塩川博義ほか 1 名: グラス・ファイバ・ダクト側壁からの音響放射の視覚化—その 2 円形断面直管部について, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 141~142, 1992. 8
- 7) 板本守正, 塩川博義ほか 2 名: 長方形および多角形断面グラス・ファイバ・ダクト直管部の気流および音響特性について, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 143~144, 1992. 8

(1993 年 2 月 5 日原稿受理, 1993 年 8 月 26 日採用決定)