

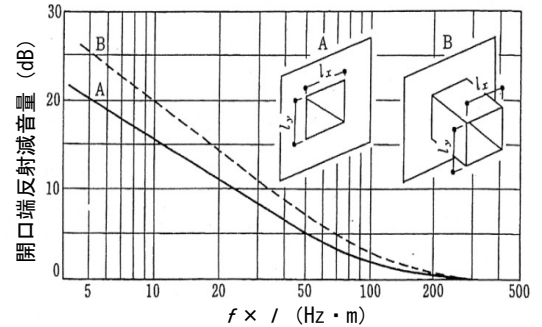
パルス音源を用いたダクト開口端反射減衰に関する研究 －その2.開口端反射エネルギー値を用いた場合－

日大生産工（院）○佐藤 真耶 日大生産工 塩川 博義

1. はじめに

前報¹⁾では、バッフル無しの場合について、ダクト内部で測定した入射エネルギー値とダクト外部で測定した放射エネルギー値から開口端減衰値を求め、ASHRAEの値と比較した結果およびダクト開口からの音響放射の指向性について検討した結果について報告した。

本報では、バッフル無しおよびバッフル有りの場合について、ダクト内部で測定した音響データにおいて入射波と開口端反射波を分離して求めた入射エネルギー値と開口端反射エネルギー値から開口端減衰値を求め、それらをASHRAEの値と比較したので、その結果を報告する。



f : 周波数 (Hz) , $l = \sqrt{l_x l_y}$ (m) 円形断面では直径 D , l_x / l_y : 長方形断面の辺長

図1 ASHRAEの図²⁾

2. 実験方法

実験装置を図2に示す。実験には円形断面の鉄板ダクト、1/2インチマイクロフォン、サーフェスマイクロフォン2個、スピーカー、アンプ、パルス音源発生器、B & K社製マルチ分析器PULSEおよび解析用パソコンを用いる。ダクトサイズは直径200mm、長さ2800mm、厚さ1.2mmである。バッフルは1800mm×1800mmで厚さ24mmの合板を使用する。

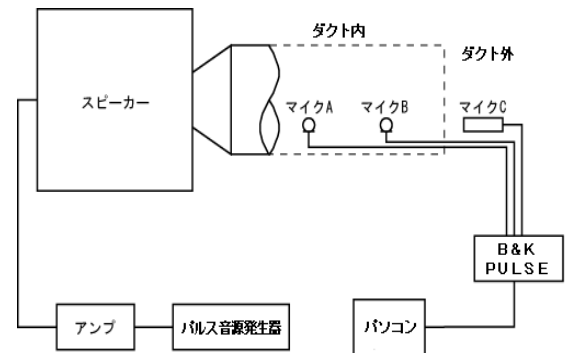


図2 実験装置

3. 実験方法

測定はすべて無響室で行う。無響室内に設置されたダクトの内部にサーフェスマイクロフォンを開口端より内側1.7m（以下マイクA）および1.0m（以下マイクB）の2ヶ所に設置する。また、ダクト断面中央外部に1/2インチマイクロフォン（以下マイクC）を設置し、スピーカーからパルス音を出して測定する。この際マイクCについて、ダクト開口端からの距離を0.5mおよび1.0mと変化させる。この測定をバッフル無しおよびバッフル有りの場合で行う。

4. 時系列波形

バッフル無しにおける各マイクで測定した音

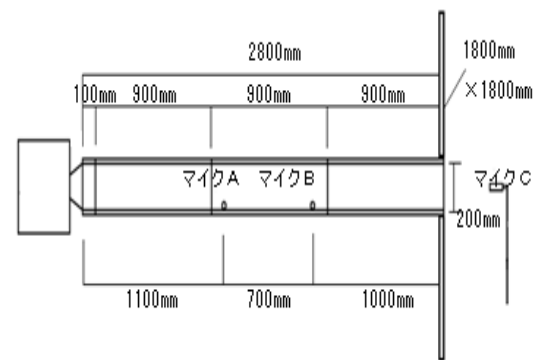


図3 ダクト内外のマイクロフォンの位置

Study On End Reflection Loss of Duct

－ Prat2.In the case of using the End Reflection Loss energy value －

Maya SATOH, Hiroyoshi SHIOKAWA

響データの時系列波形を図4に示す。スピーカーから出たパルス波がマイクAに到達したときの時間を基準として0sとすると、1.5ms後にマイクBにパルス波が、次にパルス波と逆位相の開口端反射波が7.9ms後にマイクBで、9.4ms後にマイクAで確認できる。さらに開口端反射波と逆位相で開口端反射波のスピーカーからの反射波が16.6ms後にマイクAで、18.1ms後にマイクBで確認でき、ダクト内を音波が行き来していることがわかる。ダクト外部に設置してあるマイクCでは、4.6ms後にパルス波が、21.2ms後に開口端反射波のスピーカーからの反射波が確認できる。

マイクAとマイクBの時系列波形に大きな差は見られないので、本報では入射音のデータには、より開口端に近いマイクBの測定値を用いる。ここで、マイクBの時系列波形について、図5に示すように入射波と開口端反射波に分離し、フーリエ変換をするために両側を0にする。また、ダクト開口端から外部への放射音のデータはマイクCの測定値を用いる。

5. 開口端反射減衰値の算出

以下2種類の方法により開口端反射減衰値を求める。算出方法はバップル無しおよびバップル有りの場合ともに同じである。

まず、4章において開口端反射波が確認できたことから、図6に示すように開口端において、ダクトからの入射エネルギー I_i は内部への開口端反射エネルギー I_r と外部への放射エネルギー I_t に分離されるものと仮定する。そこで、マイクBで求めた入射エネルギー I_{bi} と開口端反射エネルギー I_{br} とを減算し(式-1)、放射エネルギー I_{bt} を求め、そのレベルを $L_{I_{bt}}$ とする。入射エネルギーのレベルを $L_{I_{bi}}$ として、 $L_{I_{bt}}$ と $L_{I_{bi}}$ との差から開口端反射減衰値 ΔL を求める(式-2)。これを実験値 I とする。

$$I_{bt} = I_{bi} - I_{br} \quad [W/m^2] \quad \text{式-1}$$

$$\Delta L = L_{I_{bi}} - L_{I_{bt}} \quad [dB] \quad \text{式-2}$$

ただし、

I_{bi} : マイクBの測定値から求めた入射エネルギー
[W/m²]

I_{br} : マイクBの測定値から求めた開口端からの反射エネルギー [W/m²]

$L_{I_{bi}}$: マイクBの測定値から求めた入射エネルギーのレベル [dB]

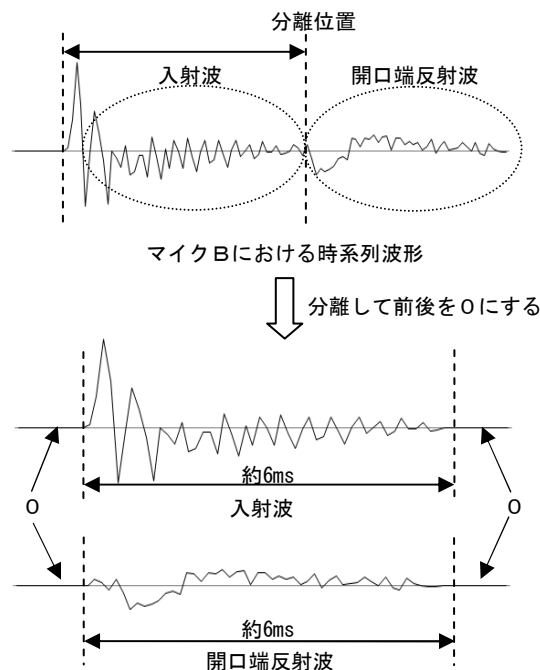


図5 入射波と反射波の分離

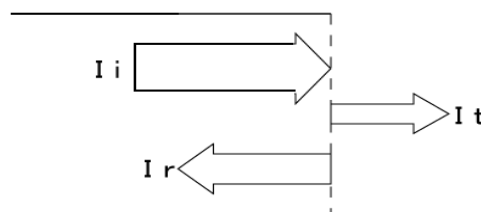


図6 開口端における音の流れ

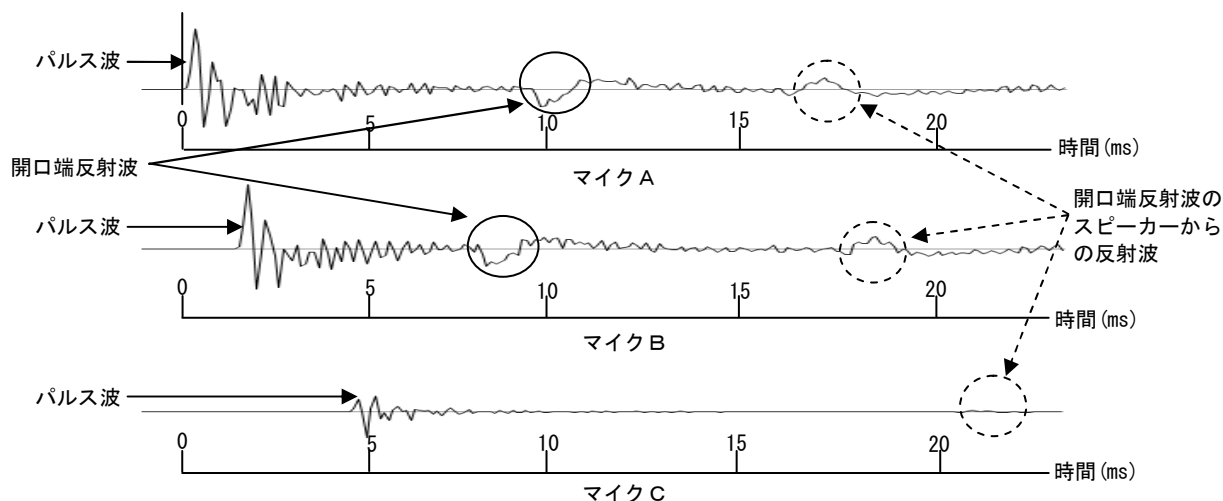


図4 各マイクの時系列波形

L_{Ibt} : マイクBの測定値から求めた開口端からの放射エネルギーのレベル[dB]

次に、ダクト内の音波は平面進行波と仮定し、マイクBで求めた入射エネルギーのレベル L_{Ibi} にダクト断面の面積効果(式-3)を考慮して、入射パワーレベル L_{wbi} を求める。さらに、マイクCの測定値から求めた放射エネルギー I_{ct} のレベルを L_{Ict} とする。マイクCの測定位置はダクト開口から0.5m以上離れているので、ダクト外部の空間を自由音場と仮定し、開口端からの放射はダクト断面中央点からの無指向性点音源と仮定し、距離減衰値(式-4)を考慮して、放射パワーレベル L_{wct} を求める。この L_{wct} と L_{wbi} との差から開口端反射減衰値 ΔL を求める(式-5)。この実験値のマイクC位置0.5mの場合を実験値II(50)、1.0mの場合を実験値II(100)とする。

$$L_{wbi} = L_{Ibi} + 10 \log_{10} S \quad [\text{dB}] \quad \text{式-3}$$

$$L_{wct} = L_{Ict} + 20 \log_{10} r + 11 \quad [\text{dB}] \quad \text{式-4}$$

$$\Delta L = L_{wbi} - L_{wct} \quad [\text{dB}] \quad \text{式-5}$$

ただし、

L_{wbi} : マイクBの測定値から求めた入射パワーレベル[dB]

L_{Ibi} : マイクBの測定値から求めた入射エネルギーのレベル[dB]

L_{wct} : マイクCの測定値から求めた開口端からの放射パワーレベル[dB]

L_{Ict} : マイクCの測定値から求めた開口端からの放射エネルギーのレベル[dB]

S : ダクト断面積[m²]

r : 開口端からの距離[m]

6. 結果および考察

6.1 バッフル無しの場合の開口端反射減衰の実験値

図7にバッフル無しの場合の周波数50～1500Hzにおける開口端反射減衰の実験値Iとダクト直径200mmφにおけるASHRAEの値を比較したものを示す。ASHRAEの値に対し、100～250Hzまではモードの影響で1.9dB以上の開きがあるが、250Hz～450Hzでは差が1.1dB以下となり、450Hz以上では差が0.6dB未満とほぼ一致している。

図8にバッフル無しの場合の周波数50～1500Hzにおける開口端反射減衰の実験値II(50)および実験値II(100)とダクト直径200mmφにおけるASHRAEの値を比較したものを示す。実験値II(50)および実験値II(100)の値はほぼ一致している。これらをASHRAEの値と比較すると50Hz～250Hzまではその差が1.0dB未満とほぼ一致するが、それ以降は周波数が高くなるにつれて差が大きくなり、500Hz以上は測定不可能であった。このことは、高い周波数ほどダクト開口からの放射音は指向性が強くなるので、単純に無指向性点音源の距離減衰として計算できないことが原因と考えられる。

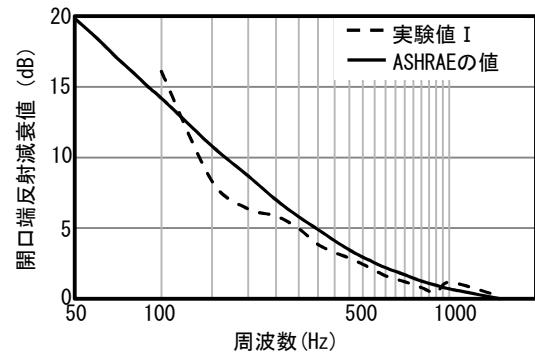


図7 バッフル無しの場合の開口端反射減衰の実験値IとASHRAEの値

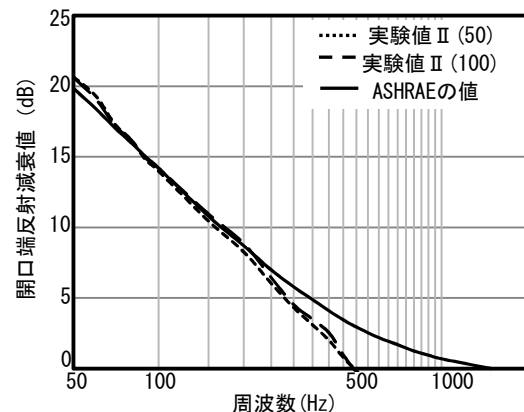


図8 バッフル無しの場合の開口端反射減衰の実験値II(50)および実験値II(100)とASHRAEの値

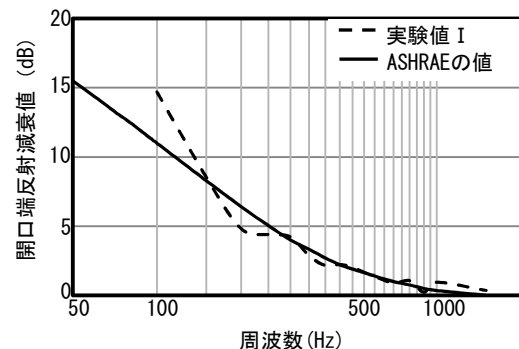


図9 バッフル有りの場合の開口端反射減衰の実験値IとASHRAEの値

6.2 バッフル有りの場合の開口端反射減衰の実験値

図9にバッフル有りの場合の周波数50～1500Hzにおける開口端反射減衰の実験値Iとダクト直径200mmφにおけるASHRAEの値を比較したものを示す。ASHRAEの値に対し、100～250Hzまではモードの影響で1.6dB以上の開きがあるが、250Hz以上では差が0.6dB以下とほぼ一致している。

図10にバッフル有りの場合の周波数50～1500Hzにおける開口端反射減衰の実験値Ⅱ(50)および実験値Ⅱ(100)とダクト直径200mmφにおけるASHRAEの値を比較したものを示す。実験値Ⅱ(50)および実験値Ⅱ(100)の値はほぼ一致している。これらをASHRAEの値と比較すると50Hz～250Hzまではその差が1.3dB未満とほぼ一致しているが、それ以降は周波数が高くなるにつれて差が大きくなり、350Hz以上は測定不可能であった。このことはバッフル無しの場合と同様、高い周波数ほどダクト開口からの放射音は指向性が強くなるので、単純に無指向性点音源の距離減衰として計算できないことが原因と考えられる。

6.3 実験値Ⅰと実験値Ⅱを合わせた開口端反射減衰の実験値

図11にバッフル無しおよびバッフル有りの場合について、250Hz以上を実験値Ⅰ、250Hz以下を実験値Ⅱとして合わせた開口端反射減衰の実験値とダクト直径200mmφにおけるASHRAEの値を比較したものを示す。バッフル無しおよびバッフル有りいずれの場合も、ASHRAEの値との差が1.1dB未満とほぼ一致した結果となる。

7. まとめ

今回の実験で得た結果を以下にまとめる。

- 1) ダクト内部で測定した入射波と開口端反射波から求めた開口端反射減衰の実験値は、バッフル無しの場合、100～250HzまではASHRAEの値と開きがあるが、250～450Hzではその差が1.2dB以下となり、450Hz以上ではほぼ一致する。バッフル有りの場合は100～250HzまではASHRAEの値と開きがあるが、250Hz以上ではほぼ一致する。
- 2) バッフル無しおよびバッフル有りいずれの場合も、ダクト開口端外部測定点0.5mおよび1.0mで測定した放射パワーレベルとダクト内部で測定した入射パワーレベルを用いて計算した開口端反射減衰の実験値は50～250HzまではASHRAEの値との差が1.3dB未満とほぼ一致するが、それ以降の周波数ではASHRAEの値との差が大きくなる。
- 3) 直径200mmの円形ダクトでは、バッフル無しおよびバッフル有りいずれの場合も、250Hz以上を実験値Ⅰ、250Hz以下を実験値Ⅱを用いれば、周波数50～1500Hzで実験値とASHRAEの値がほぼ一致する。

今後は、円形断面ダクトに限らず長方形断面ダクトにおいて、バッフルの前後の位置、アスペクト比、壁面における開口位置およびスリットの有無などの条件の違いにおける開口端反射減衰値について、実験による検討を行っていく

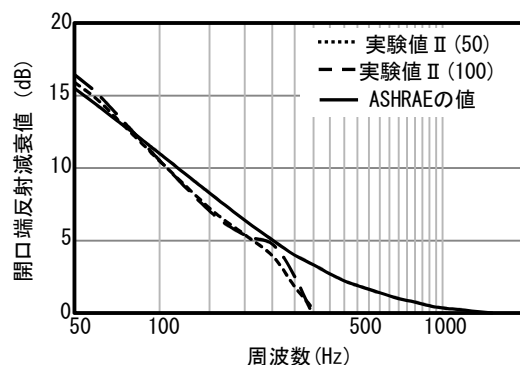


図10 バッフル有りの場合の開口端反射減衰の実験値Ⅱ(50)および実験値Ⅱ(100)とASHRAEの値

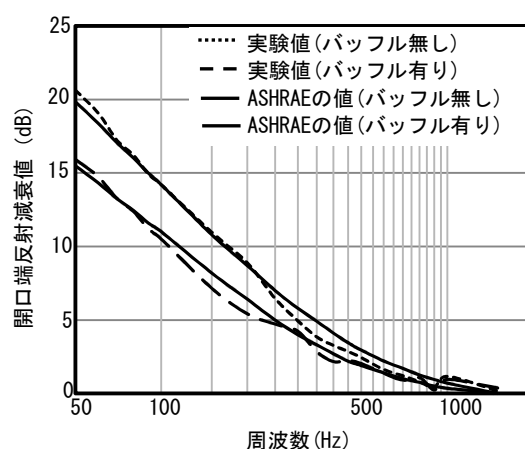


図11 バッフル無しおよびバッフル有りの場合の開口端反射減衰の実験値とダクト直径200mmφにおけるASHRAEの値

予定である。また、実験値と数値シミュレーションによる計算値との比較検討も行っていく。

「参考文献」

- 1) 佐藤真耶, 塩川博義: パルス音源を用いたダクト開口端反射減衰に関する研究, 日本大学生産工学部学術講演会, pp.119-120, 2009.12
- 2) 日本建築学会: 建築の音環境設計, 彰国社, pp.40, 2007.3