

ダクト開口端反射減衰の2次元シミュレーション

日大生産工（院）○生野 裕 日大生産工 豊谷 純
日大生産工 大澤 紘一

1 はじめに

建物に設置されている多くの空調ダクトには、騒音低減のために消音器が設置されている。この消音器がどの程度騒音を抑えているか調べるには実際に実験をするのが一般的である。しかし、ダクト内部で音がどのように伝播しているかがまだ十分に解明されていないため、消音器をどこに設置すれば効果的なのかははっきりとは分かっていない。

本研究ではコンピューターによる数値シミュレーションを実施し、ダクト内部で音がどのように伝播しているかを検討する事を目的とする。

本報では、まず、2次元のダクト開口端における数値シミュレーションを実施し、ASHRAEのダクト開口端反射減衰値[1]と比較し、計算手法や境界条件のモデル化について検証を行う。

2 基礎方程式

本研究では連続の式と運動量保存則から得られる波動方程式を適用する。そして、差分法を時空間領域に適用して離散化を行なう。

$$\frac{\partial^2 p}{\partial t^2} = c^2 \left(\frac{\partial^2 p}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial y^2} \right) \quad (1)$$

ここで p は音圧 [Pa], c は空気中の音速 [m/s] である。

3 初期条件及び境界条件

縦10 m横50 mの2次元の空間を考え、0～33 mにダクトを設置する。ダクト直径は0.2 mに設定する。初期条件は次の音圧を設定する。

$$p = a \sin \theta \quad (2)$$

ここで、 a の振幅には実験値などの値を適用する。ダクト内部の境界条件は、並行波として扱う。以下のFig. 1に示すようにダクト内部で音を発生させ、音が開口端から放出する際に、どのように音圧が変化するかを調

ASHRAEの値と比較検証する。

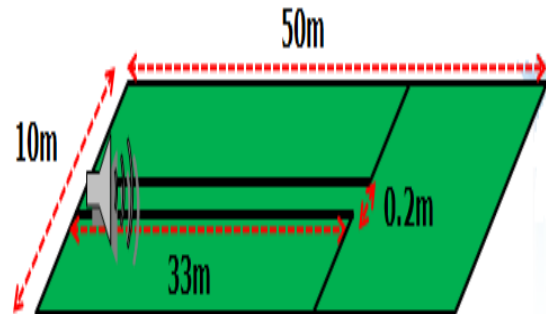


Fig. 1 2次元空間モデルの形状条件

4 数値計算結果

前章の初期条件 ($t=0.0\text{ms}$) をFig. 2に、 $t=21.84\text{ms}$ における計算結果をFig.3に示す。ダクトの中で発生した音が壁に反射しながら進行して、開口端から出る際に一部の音がダクトの中へ反射して戻っていく音圧変化が確認出来る。これは、高い周波数の音がダクト外に出て、低い周波数の音がダクトの中へ戻っていくという現象で、開口端反射減衰という現象である。

この計算結果を基に音が開口端から出る際の減衰量を計算してASHRAEのダクト開口端反射減音量と比較する。

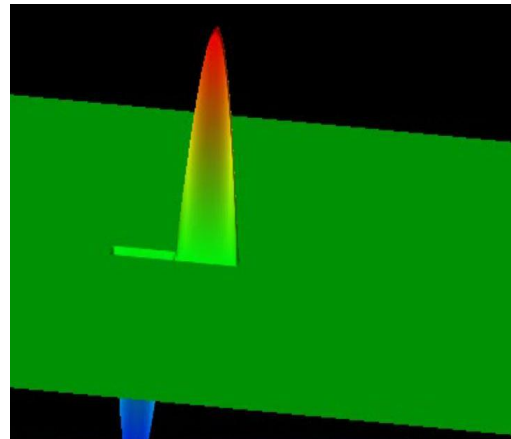


Fig. 2 数値計算結果 ($t = 0.0 \text{ ms}$)

Two dimension numerical simulation of reflection attenuation at duct open oral end

Yutaka SHONO, Jun TOYOTANI and Koichi OSAWA

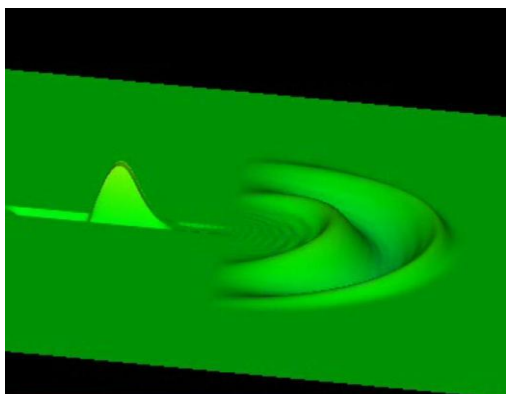


Fig. 3 数値計算結果 2 ($t = 21.84 \text{ ms}$)

5 ASHRAE値と計算値との比較

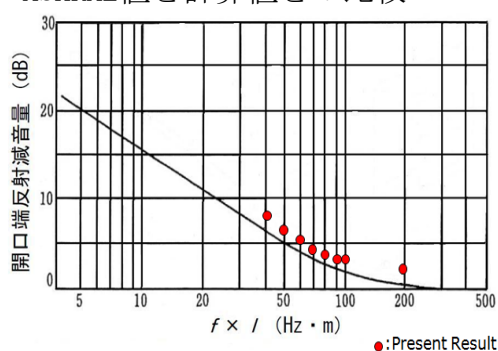


Fig. 4 ASHRAEの値と計算結果

Fig.4にASHRAEの開口端反射減音量と本計算結果を比較したものを示す。縦軸が開口端反射減音量を示し、横軸は周波数と開口端の長さ（直径）を掛けた値である。低い周波数の計算は可能ではあるが、本研究で開発したプログラムでは、周波数と直径の積が30以下の波長の長い低周波は、ダクトの長さに収まり切れなくなり、今回は行っていない。

両者はほぼ同様な傾向を示しているが、すべての計算結果がASHRAEの値より2dBくらい高くなっている。ASHRAEの値とずれてしまう要因は、本計算結果では、現実とは違い、ダクト内部と外部の気温差などの条件は考慮していないからというのに加え、開口端付近の境界条件に何か問題があるからではないかと考えられる。

また、Fig.3を見ると入力波はFig.2のように1周期のみであるのに対して、開口端で反射した後は、複数の波が外部と内部へ送り出されている。これらの音圧は、初期音圧に比較すると微小であり、時間が経つと共に減少して消滅するものと考えられる。

本計算では、ダクト内や外壁では壁面と平行波の扱いとしている。しかしながら、Fig.5のようにダクトと外側壁面との双方にあたる点での計算の初期設定は難しい。今回はダク

ト内の音圧をそのまま平行に割り当てているが、外側の音圧と等しくすべきか、それとも隣り合うダクト内と外側壁面双方の平均値を計算してから代入すべきか検証する必要がある。

特に黒丸で示されるように、ダクト内とダクト外の双方に隣接する場合の、取り扱いが難しい。本計算では、そのままダクト内の値を壁面にも与えたが、ダクト内とダクト外の音圧の平均値を与えても良く、どのような処理をすべきかは今後の課題としたい。

平行波では、ダクト内の音圧を代入

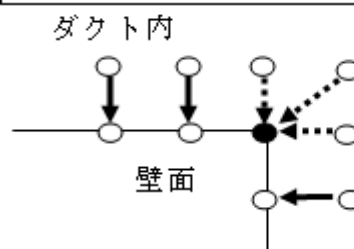


Fig. 5 境界での音圧の取扱い

6 おわりに

ダクト開口端におけるASHRAEの開口端反射減衰値と数値シミュレーション値を比較した結果、減衰特性の傾向はほぼ同様な特性を示すことが確認できた。今後は、さらに低い周波数も含めて検証した後で、3次元のシミュレーションに発展させる予定である。

「参考文献」

- 1) 日本建築学会編，建築の音環境設計，彰国社，1992.
- 2) 橋本修，実践 FDTD 時間領域差分法，森北出版株式会社，2006.
- 3) 橋秀樹，矢野博夫，環境騒音・建築音響の測定，コロナ社，2004.
- 4) 太刀岡勇気，CIP法による時間領域音場解析に関する研究，東京大学2007年度修士論文，2008.
- 5) 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の測定方法に関する研究，日本建築学会技術報告集 17(36)，2011，555-558.
- 6) 生野裕，豊谷純，塩川博義，2次元数値シミュレーションを用いたダクト開口端における音響解析，日本音響学会2010年秋季研究発表会，日本音響学会，2010，109.
- 7) 生野裕，豊谷純，塩川博義，ダクト開口端反射減衰の2次元シミュレーション，日本音響学会2011年秋季研究発表会，音響学会，2011，25.