

ダクト開口端反射減衰の数値解析

— バッフルの位置について —

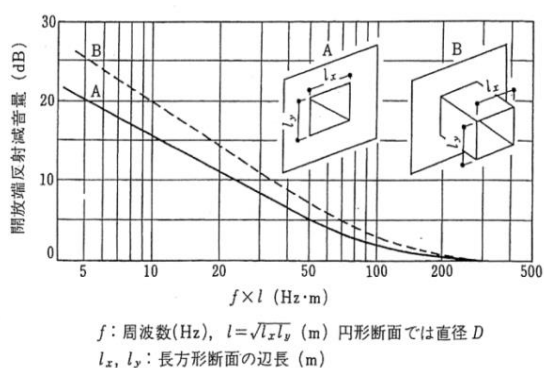
日大生産工(院) ○矢作 知也 首里 卓実
日大生産工 塩川 博義 豊谷 純

1 はじめに

建物の空調ダクト内において、送風機からの発生音および送風によってダクト内で発生する風切音は、騒音となって室内へ放射される。この騒音の制御方法として、消音器による減音と音響現象による自然減音がある。自然減音はダクト内伝搬による距離減衰とダクト開口端反射減衰に分けられる。後者のダクト開口端反射減衰は、ダクト内を伝播してきた騒音の低周波成分が開口端においてダクト内部へ反射し、放射される音が減音する現象である。

空調ダクト系の音響設計で用いるダクト開口端反射減衰は一般に ASHRAE (米国暖房冷凍空調学会) の図¹⁾(Fig.1)を使用する。ASHRAE には、Fig.1 に記されているバッフル有り(A)およびバッフル無し(B)の場合におけるダクト開口端反射減衰値しか掲載されておらず、バッフルの位置によって値がどのように変化するかは明らかにされていない。

そこで本報では、数値解析によってコンピュータ・シミュレーションを利用し、パルス音を音源とした200mmφの円形断面ダクトを用いてバッフルの位置の違いによるダクト開口端反射減衰値を算出して、ASHRAEの値と比較検討をしたので報告する。



2 基礎方程式

円形断面ダクトの場合、二次元と三次元において音の拡がりに差がない為、計算時間も考慮し二次元モデルを採用する。基礎方程式は、連続の式と運動量保存の法則から得られる波動方程式(1)を適用し、また差分法を時空間領域に適用して離散化を行う。

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

ただし、

p : 音圧[dB]

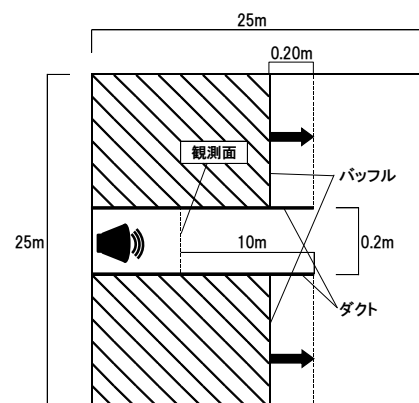
c : 空気中の音速[m/s]

3 境界条件等

Fig.2 はバッフル有りの場合のシミュレーションモデルを可視化したものである。この図にあるバッフルの位置を開口端から 0.20m 離れた位置から、0.01m ずつ矢印の方向にずらしそれぞれ数値解析を行う。

シミュレーションモデルは円形ダクト直径 200mmφ として、ダクト壁面内外いずれも全反射であり、バッフル及びダクト周辺の境界は全吸音とする。これらは一般的に用いられる境界条件である。

初期条件として、音源はパルス音とし周波数 500Hz の sin 波をダクト最奥に配置している。



Numerical Analysis of End Reflection Loss of Duct — Position of Baffle —

Kazuya YAHAGI, Takumi SHURI, Hiroyoshi SHIOKAWA and Jun TOYOTANI

結果として求める一番低い周波数が 50Hz なので、その波長 6.8m を考慮して、開口端より約 10m の位置にダクト断面を通過する全音響エネルギーを算出する為の観測面を配置する。

4 時系列波形

Fig.3 にシミュレーションによる、観測面中央を通過したパルス音の時系列波形と、開口端へ向かう入射波と開口端反射波に分離したものを示す。開口端へと向かう入射波と、逆位相の波形として開口端より反射した開口端反射波が確認できる。そこで、入射波と開口端反射波とを分離し、それぞれの両側を 0 としてフーリエ変換を行う。

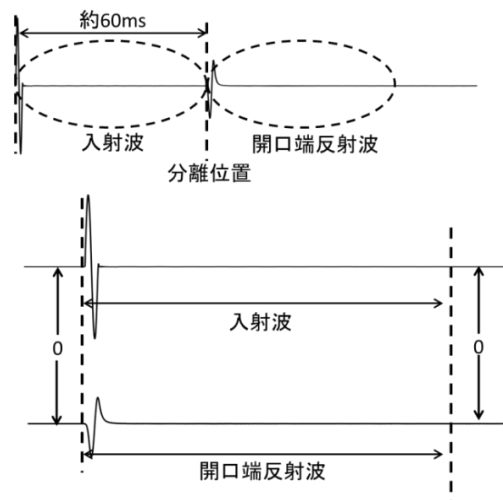


Fig.3 入射波と開口端反射波

5 開口端反射減衰の算出方法

Fig.4 に示すように開口端において、ダクトからの観測面を通過する全ての入射波のエネルギー I_i はダクト内部への開口端反射波のエネルギー 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、観測面で求めた I_i と I_r とを減算し(式(2))、 I_t を算出する。 I_i と I_t からそれぞれのレベル L_{Ii} と L_{It} を求め、その差から開口端反射減衰値 ΔL を求める(式(3))。

$$I_t = I_i - I_r \quad [\text{W/m}^2] \quad (2)$$

$$\Delta L = L_{Ii} - L_{It} \quad [\text{dB}] \quad (3)$$

ただし、

I_i : 入射エネルギー $[\text{W/m}^2]$

I_r : 反射エネルギー $[\text{W/m}^2]$

I_t : 放射エネルギー $[\text{W/m}^2]$

L_{Ii} : 入射エネルギーレベル $[\text{dB}]$

L_{It} : 放射エネルギーレベル $[\text{dB}]$

ΔL : 開口端反射減衰値 $[\text{dB}]$

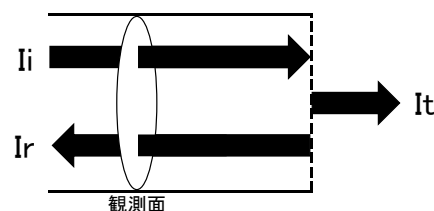


Fig.4 ダクト開口端における音の流れ

6 結果及び考察

Fig.5 バッフル有り無しの場合とバッフル位置を開口端から 0.01m ずつ離れた場合の周波数 50~1500Hz における数値解析の結果と、ダクト 200mmφ の円形断面ダクトにおける ASHRAE の値を比較したものを示す。これによれば、バッフルを開口端から離していく事で開口端反射減衰値が増加する傾向が見られる。

バッフル位置を開口端から 0.01m 離れた場合の開口端反射減衰値は、バッフル有りの値に対して 50Hz~400Hz の間において約 1.0dB 増加しているのに対して、0.01m 以降は 0.01m 離すごとに 0.1dB~0.2dB 増加する。

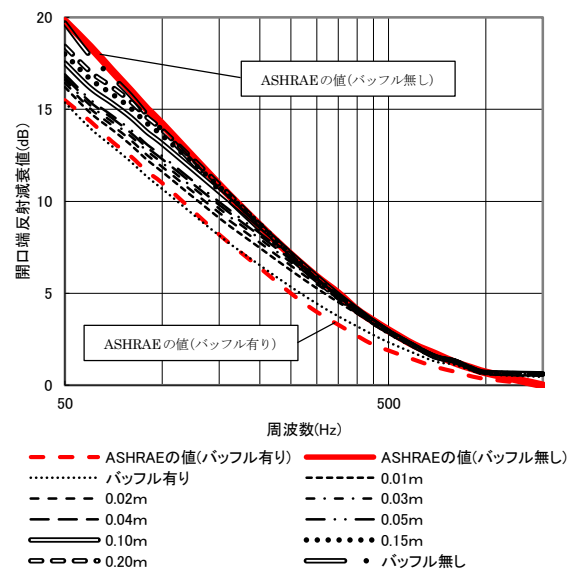


Fig.5 解析の開口端反射減衰値と ASHRAE の値

7 まとめ

ダクト開口端反射減衰の二次元音響数値解析において、バッフル位置を開口端から離していくごとにダクト開口端反射減衰値が増加することを確認した。

参考文献

- 1) 日本建築学会, 建築の音環境設計, 彰国社, pp.40,2007.3