

換気ダクト網の反射波を含めた音響伝搬計算法について
(パソコン向き計算手法および検証物理実験)

正会員 ○寺尾道仁* 同 関根秀久**

1. はじめに

筆者らは、先にダクト網の音響伝搬計算における不連続部からの反射波の考慮が重要であることを、大型汎用電算機による数値解析により示した¹⁾。しかし、実務サイドからは、パソコンクラスで実行可能なシミュレーションパッケージソフトの要求が強い。そこで必要主記憶装置容量の縮小のための手法を導入して計算を実行し、物理実験と比較した。

2. ダクト網および部材特性

図1に今回の検証実験に用いたダクト網を示す。ここでは、周波数範囲を零次断面モード波(平面進行音波)に限定する。したがって、音響特性を規定できる部材の条件として、その音響的不連続部を繋ぐ直管ダクトのすべてがそれぞれの直管断面寸法Wの4倍以上あることが目安として要求される²⁾。

このような音響部材の代表例として、分岐(部材番号7)の場合を図2に示す。ここで、この部材と直管要素の境界(インターサーフェス、零次クロスモードの範囲では1接続管との境界は1ポート)を図2のように定め、第iポートにおける入出方向の進行音波の音圧(A_i, B_i)は、その接続直管ダクトの平面波と

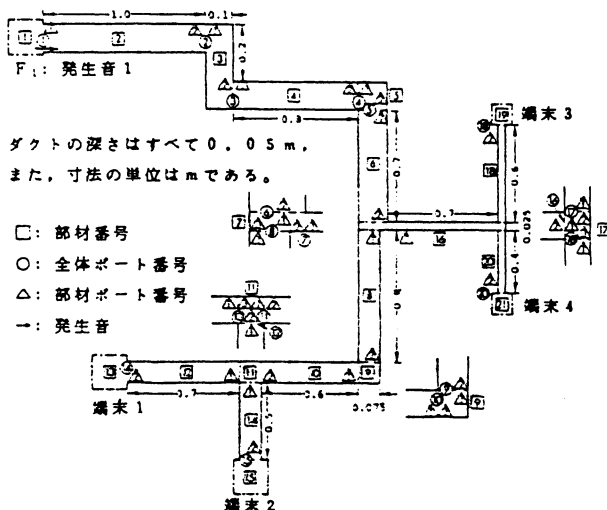


図1 検証用ダクト網と構成部材

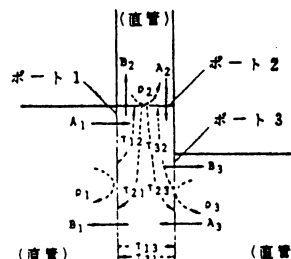


図2 部材間のポート(インターサーフェス)の定義

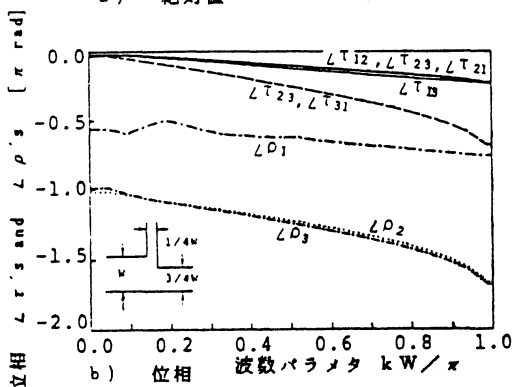
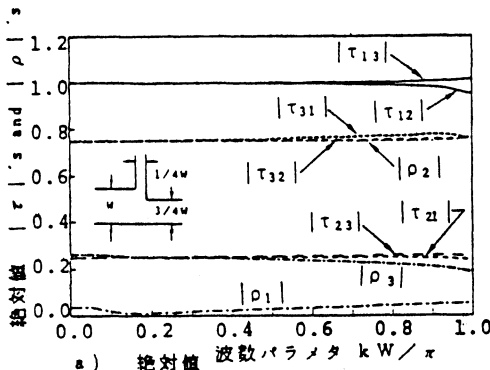


図3 分岐(部材番号7)の特性透過および反射係数 τ_{ij}, ρ_i (境界要素法による)

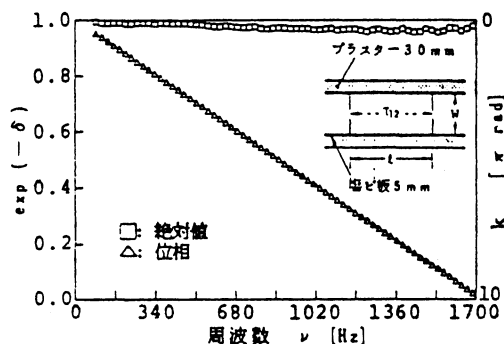


図4 直管ダクト(部材番号2)の透過係数 τ_{12}
 $\tau_{12} = \exp[-j(k-j\delta)l]$, l: 測定区間長(m),
 δ : 減衰定数(1/m). (測定による)

On a method for acoustic transmission analysis of air-duct network including reflected traveling waves
(Algorithm for personal computers and physical experiments)

みなし得る遠方観測点音圧により、その間の伝搬が平面波で行われるとしたときの音圧で定義する。

また、その音響特性 ρ_i と τ_{ij} は、それぞれ第 i ポートでの特性反射係数および第 i から第 j ポートへの特性透過係数で、この分岐の場合を図3に示す。ここで、 $k=2\pi\nu/c$ 、 ν : 周波数、 c : 音速である。

このとき、これらポート音圧と部材特性との間の関係は式(1)で表される。

$$\begin{pmatrix} \rho_1 & -1 & \tau_{21} & 0 & \tau_{31} & 0 \\ \tau_{12} & 0 & \rho_2 & -1 & \tau_{32} & 0 \\ \tau_{13} & 0 & \tau_{23} & 0 & \rho_3 & -1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} A_1 \\ B_1 \\ A_2 \\ B_2 \\ A_3 \\ B_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ -F \end{pmatrix} \quad (1)$$

ここで、アクティブな部材(発生音を有する部材)のときは、外向きの発生音圧 F を与えるものとする。なお、以下の計算において直管要素のみ実験によりその減衰定数を求めた(図4)が、その他の部材特性は有限要素法または境界要素法により得られた結果を用いている。

4. 部材の連結と解法

各構成部材の接続関係は図3に示すような全体部材番号、全体および部材内ポート番号を参照して調べられる。これにより、原理的には、式(1)のような部材毎の方程式を、全部材についてそれぞれ共有する(全体ポート番号の一致する)ポート値(未知量)を適合させ、全体方程式を構築して解けばよい。

しかし、この解法により現在のパソコン上で実行可能なポート数はせいぜい100程度までである。これを越える規模のダクト網の解析を可能とするため、部材番号の順に新たな部材の方程式をそれまでの方程式に組み込み、それ以降の部材と共有することがないポート値(退役未知量)にたいする係数を消去し、以降の部材と共有するポート値(現役未知量)のみの間の方程式のみ主記憶領域に残して行く手法を導入する。その際、後にこの現役未知量が定まった段階でこの退役未知量を定めるため、消去に用いた方程式を補助記憶装置に残して行く。この解法は主記憶容量と計算時間を大幅に縮小する。ただし、補助記憶装置へのアクセス時間が大きく、フロッピドライブの場合には、こ

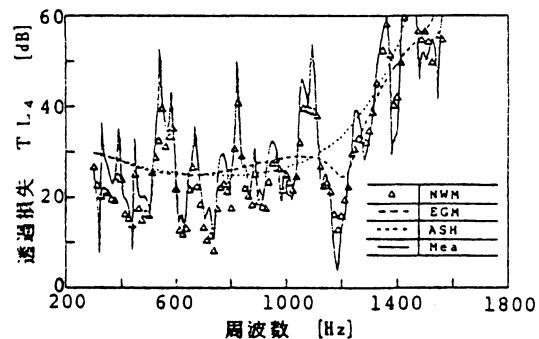
れがほとんど全実行時間を支配し、1周波数あたり2分前後を要している。

5. 数値計算および物理実験結果

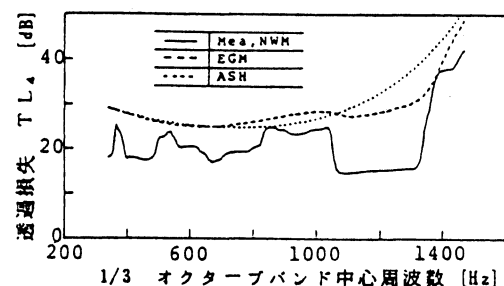
図5に、入射ダクトから第 i 端末までの間の透過損失 $TL_i = 10 \log W_i/W_1$ として $i=4$ の場合を例として示す。反射波の寄与を含めた本手法(NWM)は物理実験値(Mea.)とよい一致を示すこと、これと同じ部材特性を用いたエネルギー減算法(EGM)およびASHRAEの資料³⁾によるエネルギー減算法(ASH)は、いずれも危険側の予測誤差を与えることが分る。他の端末についても以上の傾向は同様である。

6. まとめ

反射波を含めたダクト網の音響計算の有効性を物理実験により確認した。また、大規模なダクト網の数値計算がパソコン程度の電算機で実行可能であることを示した。



a) スペクトル評価



b) バンドスペクトル評価

図5 ダクト網の透過損失の計算および実験結果 (入射ダクトと端末4との間 TL_4 の場合)

文献

- [1] M. Terao, Prec. Inter-noise86, p571, 1986.
- [2] 寺尾他, 建築学会大会梗概集, p143, 昭和60年.
- [3] ASHRAE Handbook, Systems, chap. 32, 1984.