

クロススペクトル測定によるダクト要素の音響特性の観測方法について
—特性反射および透過係数観測における無反射端末装置の省略—

正会員○寺尾道仁
同 関根秀久*

1. はじめに 文献[1]において、有風かつ任意端末条件のもとでその端末反射係数を知りつつ、送風機、消音器、分岐などダクト要素の特性反射ならびに透過係数(以下単に特性係数と呼ぶ)および発生音のダクト内測定手法を示した。ここでは特に特性係数の観測法の詳細について報告する。文献[1]と同様に接続ダクトは2(2端子対)で剛壁、またダクト軸方向平面音波の場合についてFig. 1のような測定装置の上で述べる。

2. 供試要素の特性係数と進行波音圧

第Kダクトの第1マイクロホンの位置はその検査面に一致してとる。 c^+_{mK} , c^-_{mK} , c_{mK} (添え字m:観測点番号, $m=1$ のときは1を省略)および f_{kK} をそれぞれ第K(ここでは $K=I, II$)検査面における正, 負方向への進行音波, それによる音圧および供試部材発生音圧, また, ρ_K および τ_K をそれぞれ第K検査面の特性反射係数およびそれから別の検査面への特性透過係数とすれば, 検査面における適合条件から,

$$c^+_1 = \rho_{11}c^-_{11} + \tau_{11}c^-_{11} + f_{11} \quad (1a)$$

$$c^+_{11} = \rho_{11}c^-_{11} + \tau_{11}c^-_{11} + f_{11} \quad (1b)$$

また, 後に用いる音圧比を以下に定義しておく。

$$\alpha^{\circ}_K = c^+_K / c_K = 1 / (1 + R^{\circ}_K) \quad (2a)$$

$$\beta^{\circ}_K = c^-_K / c_K = \alpha^{\circ}_K R^{\circ}_K \quad (2b)$$

$$R^{\circ}_K = c^-_K / c^+_K = (H^+_{2K} - H^{\circ}_{12K}) / (H^{\circ}_{12K} - H^-_{2K}) \quad (3)$$

$$H^{\circ}_{12K} = c_{2K} / c_K \quad (4)$$

$$H^+_{mK} = c^+_{mK} / c^+_K = \exp(-jk^+_K L_{mK}) \quad (5a)$$

$$H^-_{mK} = c^-_{mK} / c^-_K = \exp(+jk^-_K L_{mK}) \quad (5b)$$

k^+_K および k^-_K は, それぞれ正および負方向進行音波の波数, L_{mK} は第mマイクロホンの第K検査面からの距離である。検査面位置の変更に伴う変換は式(5)により, また, 端末の反射率 ρ_{TK} は R°_K および式(5)による。

3. 特性係数(ρ_K および τ_K)の測定

供試部材の発生音に起因する音圧を q_{mK} , 気流によるローカル乱流変動圧を t_{mK} , 外来暗騒音による音圧を n_{mK} で表わすものとする。また, 試験音供給用ラウドスピーカ LS_1 および LS_2 への供給信号 e_1 および e_{11} の2通りの組合せによる試験音設定をそれぞれaおよびbとし, その前者のみに起因する音圧を a_{mK} , 後者のみに起因する音圧を b_{mK} とする。

まず, 一方の試験音設定aを作動した場合, 第Kダクトの第m観測点圧力 p_{mK} ($=a_{mK} + q_{mK} + f_{mK} + t_{mK} + n_{mK}$)の供給信号eにたいするシステム関数のアンサンブル平均(記号<>)をとれば, 設定試験音aのみに依存する音圧比を上添え字(a)により表すものとして,

$$H^a_{mK} = \langle p_{mK} / e \rangle = a_{mK} / e \quad (6)$$

すなわち, 信号eにたいするコヒーレンスが低い f_{kK} , q_{mK} , t_{mK} および n_{mK} が除去される。これより式(4)に対応(cをaに書き換えて)する音圧比

$$H^a_{12K} = H^a_{2K} / H^a_{1K} = a_{2K} / a_{1K} \quad (7)$$

さらに式(3)および式(2)に対応する R^a_K , α^a_K および β^a_K が求められる。また, 式(1)についても供給信号eにたいする比のアンサンブル平均をとれば,

$$\alpha^a_{11} H^a_{11} = \rho_{11} \beta^a_{11} H^a_{11} + \tau_{11} \beta^a_{11} H^a_{11} \quad (8a)$$

$$\alpha^a_{11} H^a_{11} = \rho_{11} \beta^a_{11} H^a_{11} + \tau_{11} \beta^a_{11} H^a_{11} \quad (8b)$$

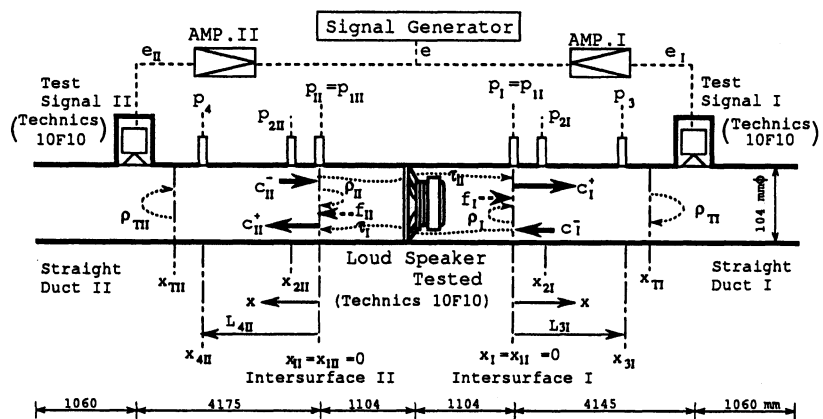


Fig.1 Test arrangement and symbols

On a method to determine acoustic properties of an air duct element by cross-spectrum measurements - Characteristic reflection and transmission observation without use of anechoic terminations. by Michihito Terao and Hidehisa Sekine (Kanagawa Univ.)

一方、試験音設定bの場合についても、同様にそのときの量を上添え字(b)により表せば、 H^b_{12K} , R^b_K , α^b_K , β^b_K および次式が得られる。

$$\alpha^b_{11}H^b_{11} = \rho_{11}\beta^b_{11}H^b_{11} + \tau_{11}\beta^b_{11}H^b_{11} \quad (8d)$$

$$\alpha^b_{11}H^b_{11} = \rho_{11}\beta^b_{11}H^b_{11} + \tau_{11}\beta^b_{11}H^b_{11} \quad (8e)$$

H^a_{12K} および H^b_{12K} を測定して H^a_K , α^a_K , β^a_K , H^b_K , α^b_K および β^b_K を定めたのち式(8)を解けばすべての特性係数 ρ_{11} , ρ_{11} , τ_{11} および τ_{11} が求められる。

4. 実験方法および装置 ここでは無気流時について調べるものとし、Fig. 1に示したようにラウドスピーカを供試要素として測定用ダクト中に挿入し、その特性係数を測定する。このとき供試ラウドスピーカの前面と背面とのそれぞれからの入射音波にたいする特性係数が同時に測定される。一方、これと比較のため、通常は無反射端末装置による方法[2]でも測定する。この場合はFig. 1においてその第1ダクトの試験音供給用ラウドスピーカ部分に代えて、Fig. 2に示すような低反射端末を接続して第2ダクト側から試験音を供給して行なった。その低反射端末の性能は、これを無反射端末装置とみなして供試要素の特性測定を行なうには、約600Hz以下で不十分であるが、それ以上の周波数範囲についての比較には堪えるものと判断した。

5. 実験結果 Fig. 3は供試ラウドスピーカの前面側からの入射音波にたいする特性係数(図における添え字はI, IIに替えFとする)の測定結果である。本手法ではさらに供試ラウドスピーカ前面に接続する測定ダクトがIの場合(実線)とIIの場合(破線)を比較している。本手法は測定用ダクトの違いによる特性係数測定結果の変化が少なく再現性が高い。また、無反射端末法(一点鎖線)と本手法とを比較すれば、ここでの無反射端末法で信頼性がある600Hz以上の周波数範囲について両者の違いは小さい。Fig. 4は音波の入射方向が供試ラウドスピーカの前面(添え字F)と背面(添え字R)からとの両方向についての特性係数を比較したものである。両者の特性反射係数は(したがって吸収率も)周波数によっては大幅に差異がでる一方、特性透過係数は全周波数域で両者一致し、透過に関する相反則が成立している。

6. まとめ 無反射端末装置を省略したダクト部材の特性反射および透過係数の測定法を明かにし、実験によりその有効性を示した。

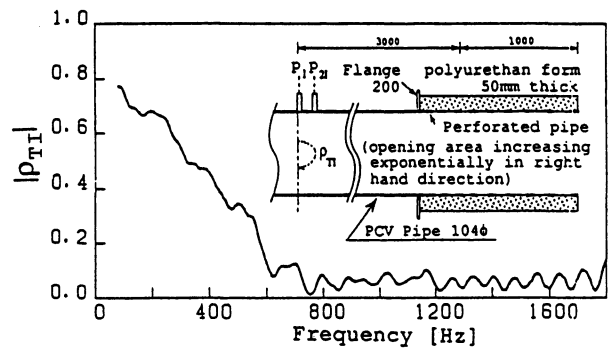
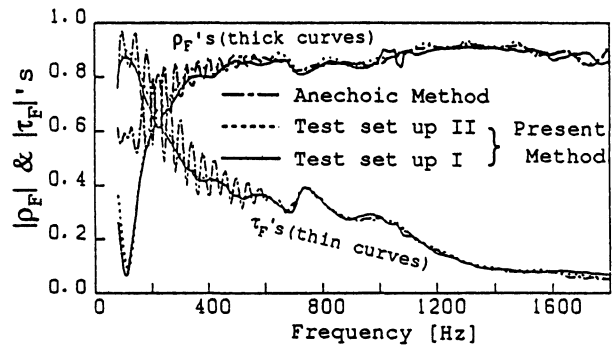
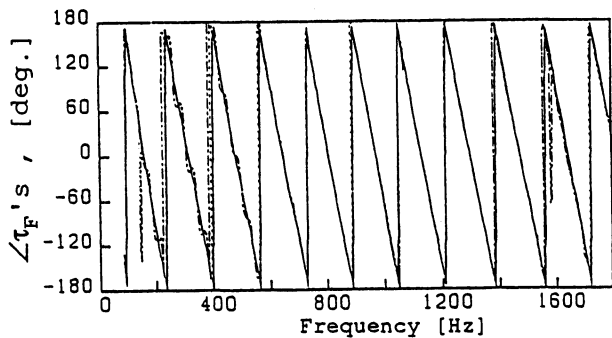


Fig. 2 Low reflective termination



a) Magnitude



b) Phase, See a) for symbols

Fig. 3 Characteristic reflection and transmission factors of a loud speaker for front incidence.

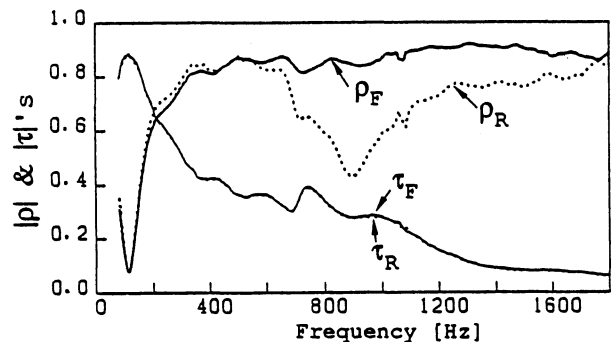


Fig. 4 Characteristic reflection and transmission factors of a loud speaker for front (F) and rear (R) incidence.

文献

[1]寺尾, 関根, 日本音響学会講演論文集, 平成元年3月.

[2]内田, 寺尾, 日本音響学会講演論文集, 昭和57年3月.

* 神奈川大学工学部建築学科 教授 工博, ** 同 教務技術員