

○寺尾道仁, 関根秀久 (神奈川大学)

1. はじめに

断面寸法が1mの程度を超えるダクト等通気路では高次モード波の挙動が重要である. そこで高次モード波を含む波動計算を可能とするための音響要素の固有特性観測手法を示し, その有効性について吸音スプリッタ型ダクトアッテネータを例として数値実験により検討する.

2. モード別平面進行波の分離検出方法

ダクト要素間接続ダクトは剛壁直管部が十分長く不連続部近距離モード波が十分減衰した領域が存在するものとし, その軸方向を x , 断面方向を y 座標にとり, 検査面を $x=0$, 壁面上を $y=0$ とする. この領域内任意点 (x, y) における音圧は

$$p(x, y) = \sum_{n=0}^N a_{(n)} \exp(-jk_x^{(n)} x) \cos(k_y^{(n)} y) + \sum_{n=0}^N b_{(n)} \exp(+jk_x^{(n)} x) \cos(k_y^{(n)} y) \quad (1)$$

ここで, $a_{(n)}$ と $b_{(n)}$ はそれぞれ検査面基準点 $(0, 0)$ における第 n 次モードの外向きおよび内向きの進行波音圧である. 波数ベクトルの x および y 方向成分は,

$$k_y^{(n)} = n\pi / L_y, \\ k_x^{(n)} = \sqrt{(\omega/c)^2 - (n\pi/L_y)^2} \quad (2)$$

により与えられる. ただし, L_y はダクト

幅, $n=0, 1, 2, \dots, N$, N は考慮すべき最大モード次数である. このとき $2(N+1)$ の進行波音圧振幅 $a_{(n)}$ と $b_{(n)}$ が未知量であり, この数だけの観測点で音圧観測し式(1)を適用して, この数だけの方程式を用意すればこの未知量を求めることができる.

3. モード別固有透過係数の測定法

要素の接続ダクト数を L , 第 ℓ ダクトの最大モード次数を N_ℓ として, 進行音波の重畳原理により各ダクト各モードの内向き・外向き進行波音圧の関係は

$$a_{\ell(n)} = \sum_{\ell'=1}^L \sum_{n'=0}^{N_{\ell'}} \tau_{\ell(n) \ell'(n')} b_{\ell'(n')} \quad (3)$$

のように表現される. ただし, $a_{\ell(n)}$ は第 ℓ ダクト ($\ell=1, 2, \dots, L$) 第 n モード ($n=0, 1, 2, \dots, N_\ell$) 外向き波音圧, $b_{\ell'(n')}$ は第 ℓ' ダクト ($\ell'=1, 2, \dots, L$) 第 n' モード ($n'=0, 1, 2, \dots, N_{\ell'}$) 外向き波音圧, また, $\tau_{\ell(n) \ell'(n')}$ は第 ℓ' ダクト第 n' モード内向波音圧の第 ℓ ダクト第 n モード外向波音圧への寄与係数, すなわち, 固有透過係数 ($\ell=\ell'$ かつ $n=n'$ のときは固有反射係数, 以下, 単に透過・反射係数) である.

ダクト網の各要素の透過係数が与えられれば, これを結合して伝搬計算が可能になる. そこで, 以下のような1音響要

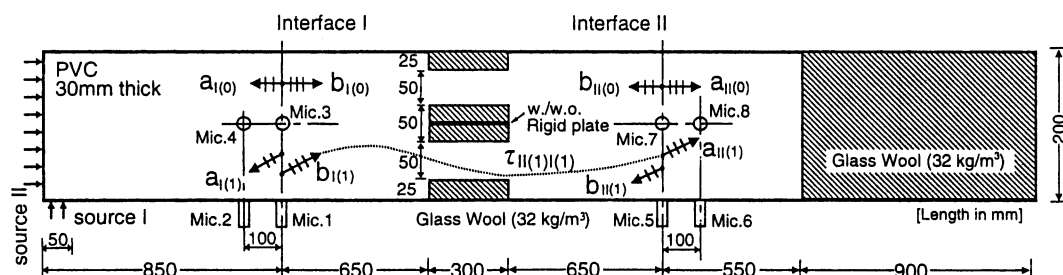


Fig.1 Splitter duct attenuator tested, and test arrangement

* A determination method of characteristic acoustic properties of a duct component including higher order modes.

By Michihito Terao and Hidehisa Sekine (Kanagawa university).

素の固有透過係数の測定方法を試みる。全接続ダクトのモード数の総和が M の場合、接続ダクト側の音場条件を $m=1, 2, \dots, M$ の M 通りに変化させ、それぞれの条件で各検査面各モード波の音圧振幅 $a_{l(n)}^{(m)}$ と $b_{l(n)}^{(m)}$ を観測する。これに式(3)を適用すれば、任意のダクト l の第 n モード外向き波音圧 $a_{l(n)}$ にたいし M 個の方程式が得られ、そこに含まれる M 個の透過係数 $\tau_{l(n)l'(n)}$ が求められる。これを l と n のすべての組み合わせ (M 通り) について実行すれば、 $M \times M$ 個のすべての透過係数が求められる。

4. 数値実験結果

Fig.1 に示すようなスプリッタ型ダクトアッテネータを対象音響要素として数値実験を行った。すなわち、吸音材（グラスウール 32 kg/m^3 ）の固有特性をチューブ法で求め、その繊維方向特性による吸音材（等方性モデル）の部分領域を含む境界要素法（要素寸法 5 mm の一定要素）数値解析[1]を行って観測点音圧を観測し、式(1)により進行波音圧、次いで式(3)により透過係数を求めた。

その結果得られた固有透過率（固有透過係数の絶対値）について、Fig.2 に中央部吸音体に仕切板が無い(a)ときと有るとき(b)を比較して示す。いずれの場合も透過係数は相反性が成立し、また、このスプリッタが両ダクト側からみて対称であり両ダクト側からみた反射係数も一致するため、それらの一方のみを示した。まず、この要素の場合、仕切板の有無によらず異なるモード波間では透過率・反射率ともに極めて値が小さい、一方、同一モード波間の透過率・反射率はいずれも無視できない大きさをもつこと、また、仕切板の有無による透過率・反射率の違いは、軸方向波間 ($\tau_{l(0)l(0)}$, $\tau_{l(0)l(0)}$) については無視できる程度に少ないが、クロスモード波間 ($\tau_{l(1)l(1)}$, $\tau_{l(1)l(1)}$) の場

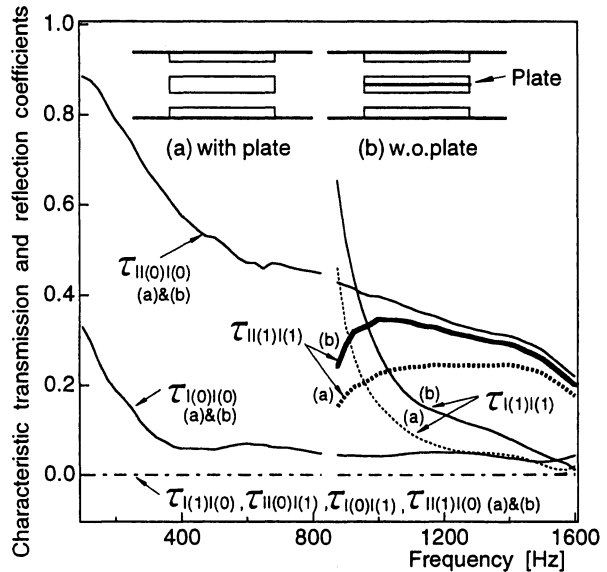


Fig.2 Characteristic acoustic properties up to 1st order mode of the splitter duct attenuator

合には大きいことがわかる。クロスモード波間の反射係数 ($\tau_{l(1)l(1)}$) は検査面インピーダンスが入射角に関係するため周波数に大きく依存し、また、仕切板の挿入により反射率が大きくなる。クロスモード波間の透過係数 ($\tau_{l(1)l(1)}$) は、軸方向波間のそれ ($\tau_{l(0)l(0)}$) の $0.4 \sim 0.2$ (透過損失 $8 \sim 14 \text{ dB}$) 程度に較べ無視できない大きさを持ち、また、仕切板がある(b)のとき 0.3 (透過損失 10 dB) 前後に較べ、仕切板がない(a)のときの方が 0.2 (透過損失 14 dB) 程度と透過損失が大きくなる。これは中央部吸音材がそれぞれ粒子速度の節と腹に位置するためとみられる。

5. 終わりに

クロスモード波成分を含む波動計算のための音響要素の固有特性観測手法を示し、数値実験によりその原理面の有効性を確認した。また、吸音スプリッタ型ダクトアッテネータでも高次モード波の反射・透過は0次モード波のそれと比較して無視できないことなどの知見を得た。

参考文献

- [1] 寺尾, 関根, 境界要素法研究会論文集, 1987.