

◎伊藤誠, 寺尾道仁, 関根秀久 (神奈川大学)

1. はじめに 本研究の目的は、スプリッタ・ダクトアッテネータにおける迷路型の平行型に対する優位性の程度を確認することにある。スプリッタ型は断面寸法が数m程度以上の大断面流路に採用されるから低次モード伝搬領域における挿入性能が重要である。それを知るためには各接続直管における伝搬モード別進行波の検出方法、および非無反射終端での特性透過係数の同定方法が必要になる。

そこで1昨年、多ポート音響要素の遠距離伝搬モード別進行波の検出手法、および非無反射終端での特性反射・透過係数の同定手法を示し、図1に示すような2次元のスプリッタ・ダクトアッテネータに対する物理実験および数値実験によりその有効性を確認した[1]。そこでは実験との対応を主眼とし、実験精度の制約からアッテネータの両接続直管ダクトにおけ

る周波数は2次モードcut-off以下、すなわち、伝搬モード数は0次および1次モードの2モードのみに限定した。

平行型スプリッタにおいて、波長が流路幅の程度に短くなると直進性が強まり、それより高周波数域では、周波数とともに減衰量が低下するとされ、迷路型は直進透過の阻止を狙っている。したがって、初期の研究目標を達成するためには、接続直管のモード数8程度(8次モードcut-off程度まで)に対するモード別透過係数の同定が必要になる。

今回は、前回述べた任意点音圧観測手法について、音圧観測を数値計算に限り、音圧観測値の精度の向上による分離モード数の増加を図った。

また、今回の場合、最小減衰モードの0次モードに対する透過係数が得られれば十分であるので、前回の手法の他に、選点的音圧観測手法による0次モードに対する透過損失同定も試みる。

2. 迷路型アッテネータの構造と設定条件

図1に迷路型および平行板型アッテネータの構造と配置状況を示す。比較のため両者の吸音体平均幅と吸音体領域面積を同一とした。吸音体を含む音場は吸音材表面で部分領域分割し境界要素は一定要素としその寸法は1/10程度以下を目安に6kHz以下の周波数では5mm, 6kHz以上では2mmとした。

数値計算における吸音材領域は等方性モデル、その音響特性はグラスウール

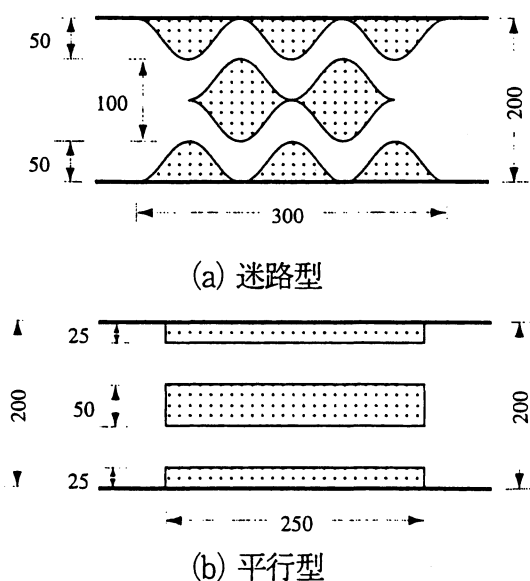


図1 スプリッタ・ダクトアッテネータ

*On acoustic performance of a splitter duct silencer with zigzag channels.

By M. Itoh, M. Terao, H. Sekine (Kanagawa University).

32kg/m³ を想定して静的流動係数を 8500kg・s/m² とし Delany and Bazley の経験式 [2] を用いた。

3. モード別平面進行波音圧の検出方法

図2に示すように、ある接続ダクト（幅 W ）の軸方向に沿いアッテネータから外向きに座標 x をとる。その遠距離伝搬領域に検査面をとり、その位置を $x=0$ とする。また、ダクトの断面方向に y 座標をとり、一方の壁面の y 座標を $y=0$ とする。対象とする周波数における伝搬モード最大次数を N 、伝搬モード次数をとし、座標におけるモード次数 n の外向きおよび内向き進行波音圧振幅を $a_{(n)}$ および $b_{(n)}$ とすれば、剛壁直管ダクト内遠距離伝搬場の音圧 $p(x, y)$ は

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

のように表わされる。ここで、

$$k_y^{(n)} = n\pi / W \quad (2a)$$

$$k_x^{(n)} = \sqrt{(\omega/c)^2 - (n\pi/W)^2} \quad (2b)$$

は n 次モード波の波数ベクトルの x および y 方向成分である。

(a) 任意点音圧観測・逆解析手法

未知量 $a_{(n)}$ および $b_{(n)}$ の数だけの座標点における音圧 $p(x, y)$ が与えられれば、その数の式(1)が構成できるから、それを連立して解くことにより進行波音圧振幅 $a_{(n)}$ および $b_{(n)}$ が求められる [1]。

(b) 特定点音圧観測・陽的手法

$\cos(k_y^{(n)} y)$ が、 n が奇数のときダクト軸に対して奇関数、偶数のとき偶関数である性質および $\cos(k_y^{(n)} y)$ の零点がモード次数により異なる性質を利用すれば、陽的または小さな連立方程式の組み合わせにより各モード波音圧が求められる。ここでは、今回の場合に必要な0次モード波の陽的検出手法のみ以下に述べる。

ある断面 x の音圧を積分すれば

$$\int_0^W p(x, y) dy = \sum_{n=0}^N a_{(n)} \exp(-jk_x^{(n)} x) \int_0^W \cos(k_y^{(n)} y) dy + \sum_{n=0}^N b_{(n)} \exp(+jk_x^{(n)} x) \int_0^W \cos(k_y^{(n)} y) dy$$

ここで0次モードは $\int_0^W \cos(k_y^{(0)} y) dy = W$

0次モード以外は $\int_0^W \cos(k_y^{(n)} y) dy = 0$

の性質を利用すれば

$$\bar{p}(x) = \frac{1}{W} \int_0^W p(x, y) dy = a_{(0)} \exp(-jk_x^{(0)} x) + b_{(0)} \exp(+jk_x^{(0)} x) \quad (3)$$

のような関係が得られる。異なる2断面の平均音圧 $\bar{p}(x_1)$ 、 $\bar{p}(x_2)$ に対する2組の方程式(3)を連立して解けば0次モードの進行波音圧 $a_{(0)}$ と $b_{(0)}$ が求められる。

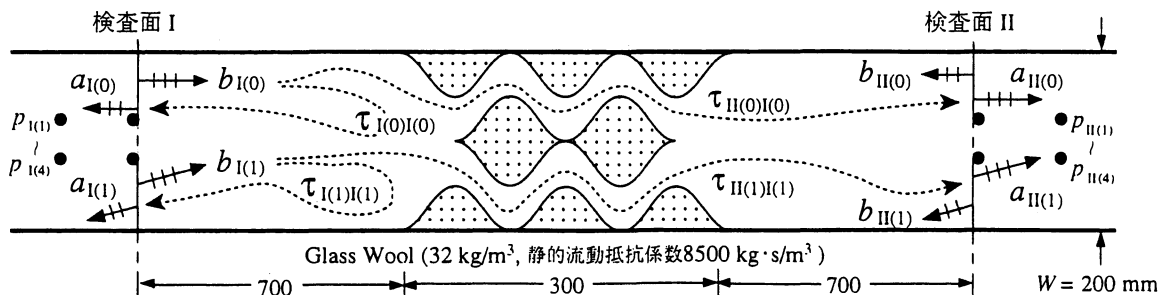


図2 観測点音圧 p 、進行波音圧 a 、 b 、および固有音響透過係数 τ

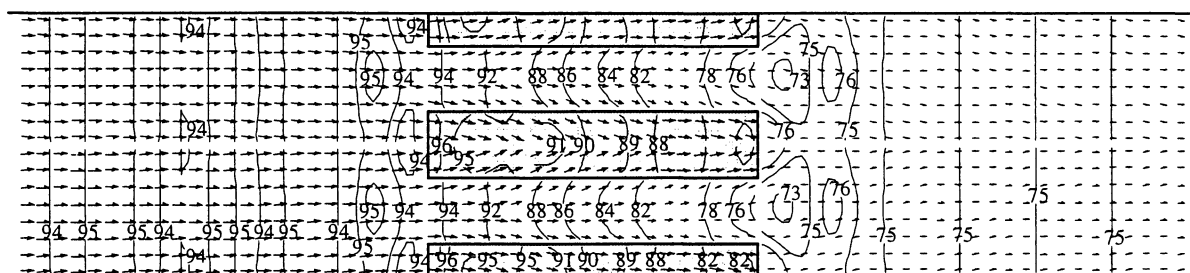
4. モード別固有透過係数の観測手法

図2に示すように、接続ダクト数を L 、ダクト番号を $\ell(I, II, \dots, L)$ 、第 ℓ ダクトの伝搬モード最大次数を N_ℓ 、伝搬モード次数を $n(=0, 1, 2, \dots, N_\ell)$ として、3項で述べた手法により各接続ダクト検査面 ℓ の各モード n 進行波音圧振幅 $a_{\ell(n)}$ と $b_{\ell(n)}$ (それぞれ外向波と内向波)を分離検出する。第 ℓ ダクト第 n モードの外向波音圧 $a_{\ell(n)}$ は、第 ℓ' ダクト($\ell'=I, II, \dots, L$)第 n' モード($n'=0, 1, 2, \dots, N_{\ell'}$)

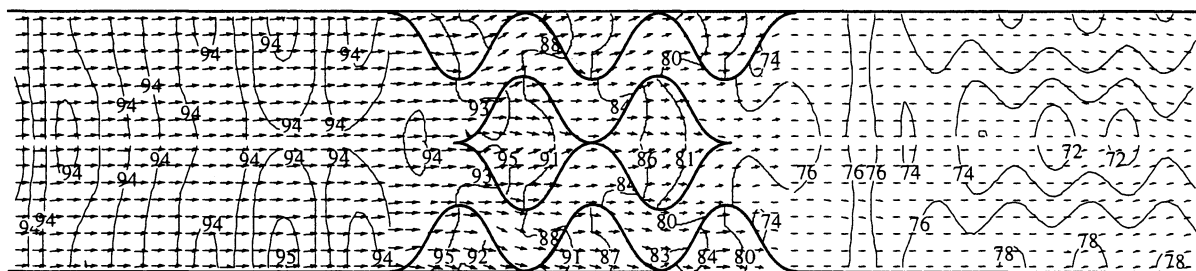
の内向波音圧 $b_{\ell'(n')}$ が透過係数 $\tau_{\ell(n)\ell'(n')}$ をもって寄与する。すなわち、

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

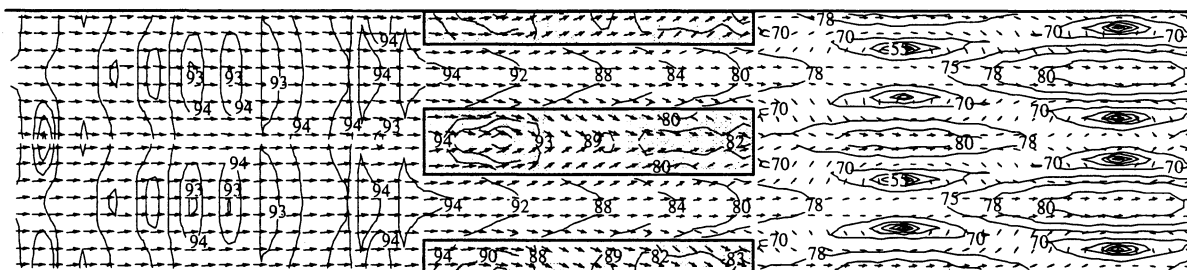
この各透過係数を求めるため、全接続ダクトのモード数の総和を M として、全接続ダクト側の音場条件を音源の配置や指向性により M 通りに変化させ、それぞれの音場条件で観測した各検査面各モード



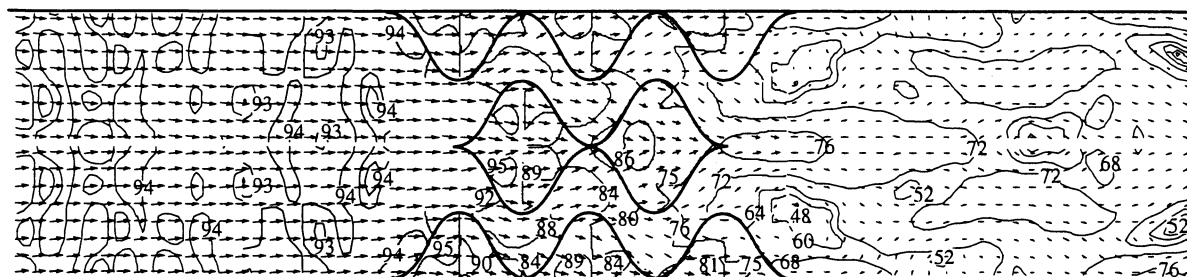
(a) 平行型 3000Hz ($2W/\lambda=3.53$)



(b) 迷路型 3000Hz ($2W/\lambda=3.53$)



(c) 平行型 6000Hz ($2W/\lambda=7.06$)



(d) 迷路型 6000Hz ($2W/\lambda=7.06$)

図3 吸音体周辺の音圧分布図および音響インテンシティ (0次モード励振の場合)

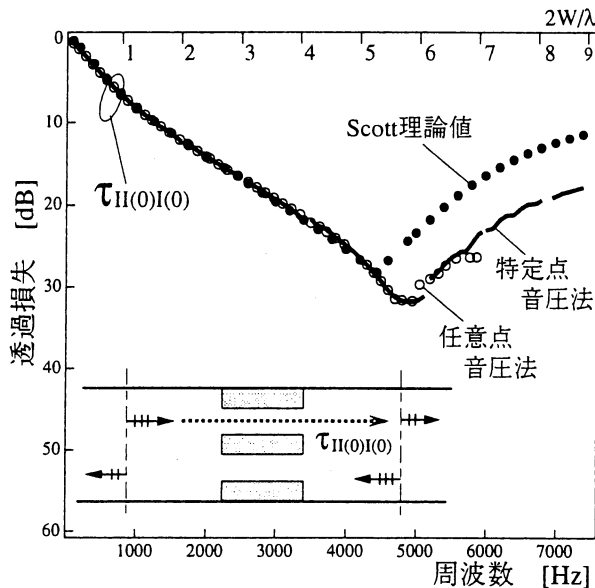


図4 透過損失 (0次モード波成分)

波の音圧振幅を観測する。これと式(1)により各々の $a_{\ell(n)}$ にたいし M 個の方程式を得て、そこに含まれる M 個の透過係数 $\tau_{\ell(n)\ell(n)}$ を求める。

5. 固有音響透過係数の解析結果

数値解析の結果得られた吸音体周辺の音場を図3に、平行型と迷路型の0次モードの固有音響特性を図4と図5に示す。図4には平行型に対応する0次モード波のScottの理論式[3]も加えた。平行板型の反射が少なく、平行板型の数値解析結果はScottの理論式と低周波数域では良好な一致を示すが、約4.5 kHz (平行流路の2次クロスモードcut-on)以上の周波数領域では両者に差異が生ずる。そこでは0次モード波筒抜け現象が顕著に現れ透過損失が低下する、一方、このビーム化現象の阻止を主たる採用理由とする迷路型では、吸音材内を透過する音波(図3(d))が流路のそれに比べて無視できない。これは図6に示すように、吸音体内の仕切板挿入効果が大きいことからわかる。

6. 終わりに

境界要素法数値解析により迷路型スプリッタダクトアッテネータについて、基本モード波の透過損失を求めた。有限長

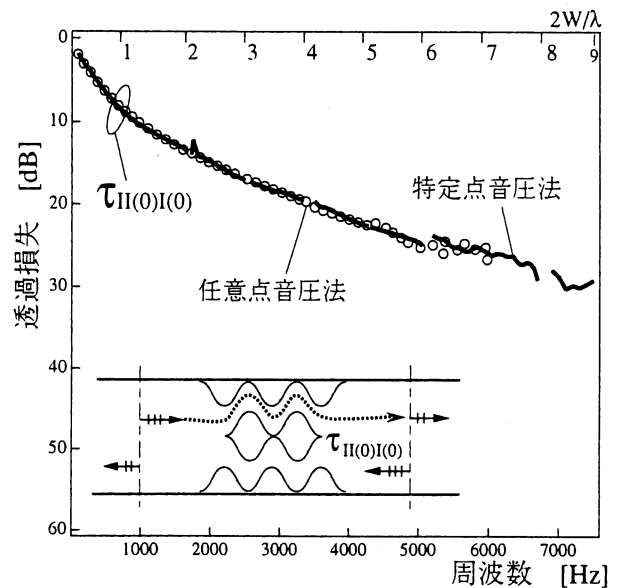


図5 透過損失 (0次モード波成分)

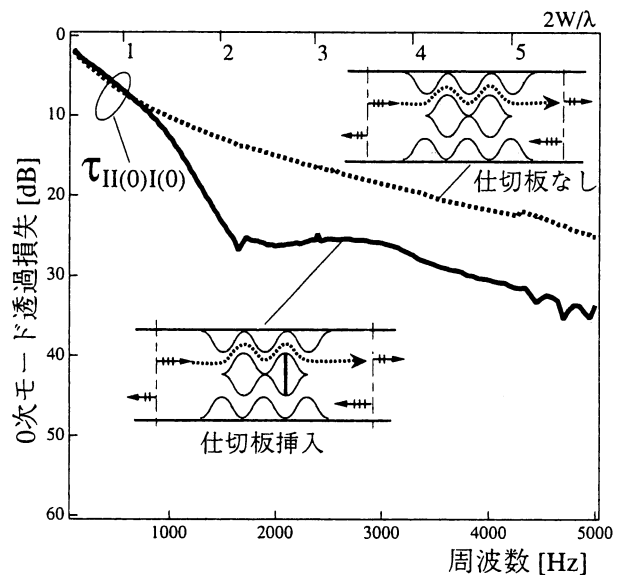


図6 吸音体内への仕切板挿入の効果 (0次モード)

平行型アッテネータの高周波数領域における音波の直近透過による透過損失の低域は、無限長Scott理論ほど極端ではないこと、これに対する迷路型の効果は吸音体内音響透過の阻止が重要であることを示した。

参考文献

- [1] 寺尾, 関根, 騒音制御工学会講論集, 1997年9月.
- [2] M.E. Delany and E. N. Bazley, Acoustical properties of fibrous scoustical materials, Applied acoustics, 3, 1970.
- [3] Scott, R.A.A., The propagation of sound between walls of porous material, Proc. Phys. Soc., 58, 1972.