

# 直角エルボの一次モード域音響特性に与える整流ベーンの効果\*

◎佐々木悠哉, 寺尾道仁, 関根秀久, 服部康章 (神奈川大・工)

## 1 はじめに

最近, ダクト内騒音対策手段として消音エルボが最も多用されている。しかし, 消音エルボの欠点として多孔質吸音構造では消音が小さい周波数域である1次モード cut-on よりやや高い周波数域における遮音欠損が挙げられる。これは一般の空調ダクト網(ダクト寸法 30~100cm)では 200~500Hz の音域にあたり, また, 音声の主要周波数域にあるため, この低減は重要である。その対策として直角エルボへのベーン挿入効果について2次元境界要素法数値解析および物理実験により調べる。

## 2 固有パワー透過係数の検出方法

図1に示すような直角エルボ(幅  $W$ )において, 2次モード cut-on 以下の周波数域を対象とし, 第  $l$  ( $l = \text{I, II}$ ) ダクト第  $n$  ( $n = 0, 1$ ) モードの外向き進行波音圧を  $a_{l(n)}$ , 第  $l'$  ダクト第  $n'$  モードの内向き進行波音圧を  $b_{l'(n')}$  とすれば, 固有音圧透過係数を  $T_{l'(n')l(n)}$  として式(1)により表される。

$$a_{k(m)} = \sum_{i=1}^{\text{II}} \sum_{n=0}^1 T_{k(m)i(n)} b_{i(n)}, \quad k = \text{I, II}, m = 0, 1 \quad (1)$$

この16の  $T_{l'(n')l(n)}$  は音源側と終端側の音場を

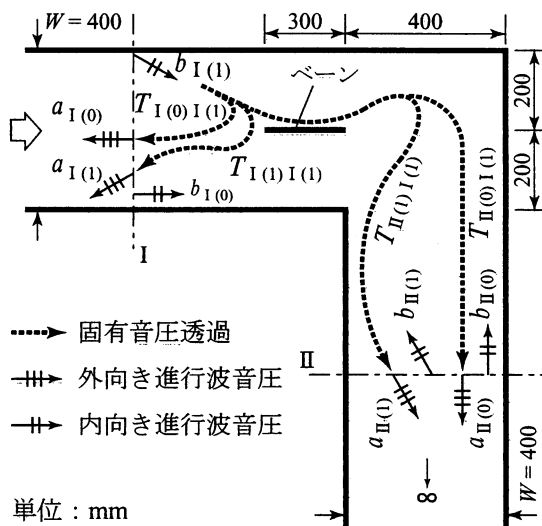


図1 直角エルボにおける進行波と透過係数

4通りに変化させ, そのそれぞれにおいて  $a_{l(n)}$  と  $b_{l'(n')}$  を測定して16の方程式を構成して求める。固有音圧透過係数  $T_{l'(n')l(n)}$  は音源ダクト以外の入射波音圧  $b_{l'(n')}$  を0とした時の各ダクトの外向き進行波音圧  $a_{l(n)}$  との比  $T_{l'(n')l(n)} = a_{l(n)} / b_{l'(n')}$  として定義される。進行波音圧が  $p_{l(n)}$  のときダクト断面を通過するパワー  $P_{l(n)}$  は式(2)により表される。

$$P_{l(n)} = \varepsilon_n S_{l(n)} |p_{l(n)} / \varepsilon_n|^2 / 2 \quad (2)$$

ただし,  $S_{l(n)} = W \cos \theta_{l(n)}$ ,  $\varepsilon_n$  は  $n=0$  のとき  $\varepsilon_n = 1$ ,  $n \neq 0$  のとき  $\varepsilon_n = 2$ ,  $\theta_{l(n)}$  は周波数を  $f$  として  $\sin \theta_{l(n)} = nc / 2Wf$  により求められる。

したがって, 固有パワー透過係数  $\tau_{l'(n')l(n)}$  は

$$\tau_{l'(n')l(n)} = |T_{l'(n')l(n)}|^2 (\varepsilon_{n'} / \varepsilon_n) (S_{l'(n')} / S_{l(n)}) \quad (3)$$

## 3 平面進行波音圧の検出方法

各ダクトにおいて, 軸方向を  $x$ , 断面方向を  $y$  座標にとり検査面を  $x=0$  とし, ダクトの断面方向座標の原点  $y=0$  を1つの壁面にとれば, この2次元剛壁直管内の遠距離伝搬場音圧  $p(x, y)$  は式(4)により表される。すなわち,

$$p(x, y) = \sum_{n=0}^N a_{(n)} \exp(-jk_x^{(n)} x) \cos(k_y^{(n)} y) + \sum_{n=0}^N b_{(n)} \exp(+jk_x^{(n)} x) \cos(k_y^{(n)} y) \quad (4)$$

ただし,

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

各モードの外向きおよび内向き進行波音圧  $a_n$  と  $b_n$  は, それを未知数 ( $a_0, b_0, a_1, b_1$ ) とし, それ以上の観測点数(4以上, 図2参照)で音圧  $p$  の観測を行いそれぞれに式(4)を適用して連立方程式を構成し特異値分解法により求める。

## 4 実験方法

ダクトには塩化ビニル板(板厚 20mm)を用いた。音源はスピーカを4個設置して位相と振幅をそれぞれ調整し, 0次モードと1次モードの入射波を励起した。終端にはグラスウール(32 kg/m<sup>3</sup>)楔型吸音体を配置した。また,

\*Effect of vanes on 1st-order mode acoustic transmission of a right-angled duct elbow, by SASAKI, Yuya, TERAO, Michihito, SEKINE, Hidehisa and HATTORI, Yasufumi (Knagawa University).

音源側での定在波を低減させるため、グラスウール(40 kg/m<sup>3</sup>)をスピーカの周辺に配置した。音圧測定は小型エレクトレットマイクロホンをダクト上面と側面に設置して行った。なお、音源側を上流側観測点、終端側を下流側観測点として、マイクロホンをそれぞれ 8 個設置して測定した。

ベーンはステンレス板(長さ 300mm, 板厚 1mm)を用いた。

固有パワー透過係数検出に必要な 4 通りの音場条件は、スピーカ配置を上流側と下流側の 2 通り、それぞれ 0 次モード入射波と 1 次モード入射波の 2 通りの励起パターンとした。

## 5 数値解析および物理実験結果

多点音圧測定法により外向き進行波音圧、内向き進行波音圧および反射係数を調べた。また、数値解析におけるダクト内の上下面、左右面およびベーンの境界条件は剛壁、終端は低反射終端とした。分離解析した結果から進行波の固有パワー反射係数、固有パワー透過係数を求めた。

図 2 に直角エルボ周辺の音圧分布(数値解析)を例示する。これは 1 次モード波 cut-on よりやや高い周波数 450Hz の場合である。ベーンで仕切られた流路空間は、ベーンが挿入されていない場合に 1 次モード波が支配的であったのに対し、ベーンで仕切られると 0 次モード波が支配する音場になっている。

図 3 に 1 次モード入射波に対する固有パワー透過係数を示す。(a)  $\tau_{II(0)I(1)}$  および (b)  $\tau_{II(1)I(1)}$  はそれぞれの 1 次モード入射波が 0 次モード波および 1 次モード波として透過するときの固有パワー透過係数である。数値解析、実験ともに 1 次モード波 cut-on よりやや高い周波数域におけるベーン挿入による音響透過の低減効果が確認された。これは、1 モード波はその cut-on 周波数に近づくほどダクト軸に対して斜め方向に進行するため、ベーンで仕切られた音場(軸方向モードが支配的)とのインピーダンス不整合の度合いが強くなり反射が大きくなるものと考えられる。実験値と数値解析値の不一致は、ダイナミックレンジ不足が生じやすい定在波の音圧ノード部の測定値が含まれていることが一因として考えられる。現在この誤差の低減のため、より多点の音圧観測点をより広範囲に設けた上で、定在波ノード点のデータを除外するデータ処理を試みている。

## 6 おわりに

本研究ではダクト内多点音圧分離検出法を応用して直角エルボの固有音響透過係数を観測し、ベーンの挿入は 1 次モード波の音響透過を低減することを示した。今後の課題として、曲がり部前後のベーンの枚数、配置、また、吸音体を設置した場合の遮音性能の検討などが挙げられる。

### 参考文献

- [1] 寺尾道仁, 日本音響学会講演論文集, pp.761-762, 1999.9.

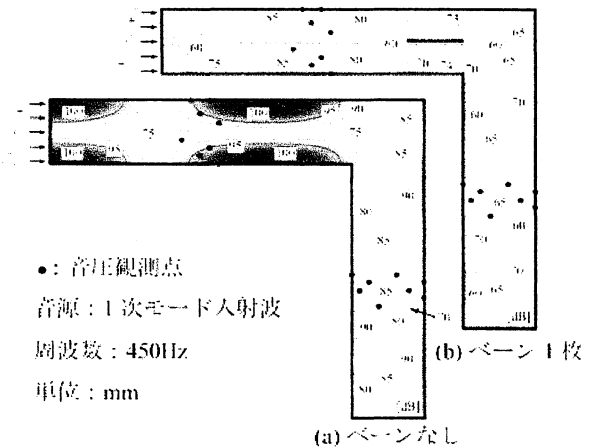


図 2 ダクト内の音圧分布数値解析

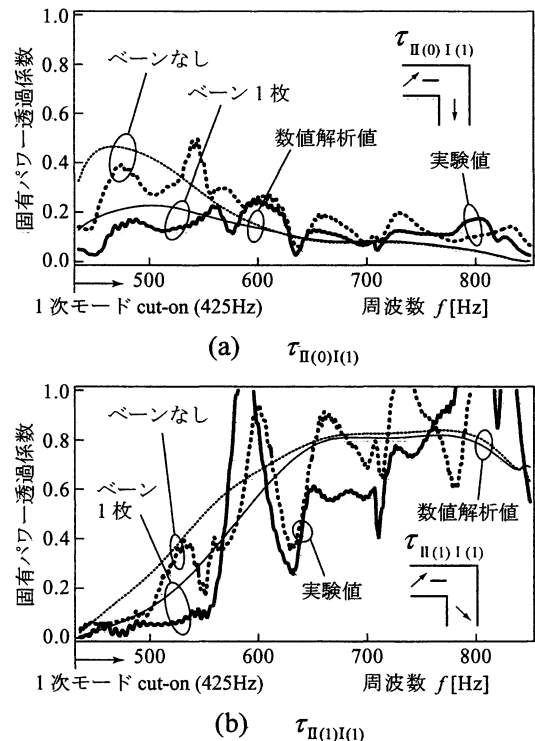


図 3 1 次モード入射波に対する固有音響パワー透過係数