

○寺尾道仁, 関根秀久, 文殊川潔, △池田政隆(神奈川大・工)

1. はじめに 共鳴器ネック部開口の音響抵抗については、円形開口の場合には Ingard[1]の半経験式があるが、非円形開口の場合の陽的表現はみあたらない。前報[2]において、この半経験式に水力半径を導入してスリット開口への適用を試み、それが実用的有効性をもつことを示した。ここでは非円形性が強い開口(十字形や星形など)に対するこの手法の適応性について実験的に調べる。

2. ネック部開口音響特性の陽的表現

Fig.1 のような断面積  $S_D (= B_D H_D = 10\text{cm} \times 10\text{cm})$  のダクトに端末配置されたヘルムホルツ型共鳴器の開口前面の音響インピーダンス  $Z_{HR}$  は

$$Z_{HR} = p_f / U_A = R_A + jX_{HR} \quad (1)$$

により表される。ここで、 $p_f$  は開口前面の複素音圧振幅、 $U_A$  は共鳴器に流入する体積速度である。 $\omega$  を角周波数として、 $X_{HR} = \omega M_{HR} - 1/\omega C_{HR}$  は音響リアクタンス、また、 $\rho$  を空気密度、 $c$  を空気中の音速として  $C_{HR} = V_{cav} / \rho c^2$  は体積  $V_{cav}$  の空洞部の音響コンプライアンス、 $M_{HR} = \rho(l_A + l_M) / S_A$  は開口(面積  $S_A$ 、長さ  $l_A$ )の音響イナータンス、 $l_M$  は付加質量補正長で、円形開口(半径  $a$ 、ポロシティ  $\sigma = S_A / S_D$ )に対しては Rschekin [3]による

$$2l_M = 1.6a(1 - 1.4\sigma^{1/2} + 1.47\sigma^{3/2}) \quad (2)$$

がある。非円形開口に対しては、式(2)の半径  $a$  に代えて半径  $a$  の円断面と等面積を与える半径  $a_e = \sqrt{S_A / \pi}$  を適用する。なお、スリットの場合には Smits ら [4]による付加質量補正長(具体式は長々しくなるため省略)を用いる。

一方、 $R_A$  は開口部の音響レジスタンスで Ingard の理論モデル

$$R_A = 2R_v(l_A + l_r) / S_A a \quad (3)$$

がある。ここで、 $R_v$  は壁面による粘性抵抗係数で1気圧20°Cにおいては、 $R_v = 0.83 \times 10^{-2} \sqrt{\omega / 2\pi}$  で与えられる。また、 $l_r$  は付加抵抗補正長で Ingard は円形開口に対する経験式として  $l_r = 2a$  を得ている。ここでは、式(3)を非円形開口(ペリメータ長  $L_p$ )に応用するため、式(3)の  $a$  に代えて等価摩擦水力半径

$a_f = 2S_A / L_p$  を導入する。共鳴器開口の音響散逸率

$\delta_{HR}$  は、 $R_A^* = R_A / (\rho c / S_D)$  として

$$\delta_{HR} = 4R_A^* / \{(1 + R_A^*)^2 + X_{HR}^2\} \quad (4)$$

により求められる。開口を除く散逸が無視できるときには、共鳴器の吸音率  $\alpha_f$  は  $\delta_{HR}$  に一致する。

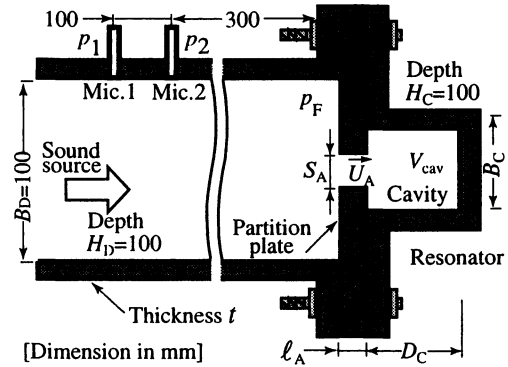


Fig.1 A Helmholtz resonator at an end of a straight duct

3. 実験方法

実験装置および実験方法は前報[2]と同様である。開口板は板厚 2mm と 10mm のステンレス鋼板とし、その中央に単独開口を配置した。開口形状は円形、四角形、十字形、星形とした。円形開口の半径を 4mm、5mm、8mm として、非円形開口の寸法は概ねこれに対応する面積を選んだ。空洞容積は 250cm<sup>3</sup> と 1000cm<sup>3</sup> の 2 通りである。ダクトと空洞の板厚は、PVC 板のとき 30mm、鋼板のとき 10mm とした。吸音率  $\alpha_f$  は 2 マイクロホン法により測定した。

4. 実験結果

Fig.2 に実験結果と陽表現(4)との比較例を示す。ここで実験値はマイクロホン以降全壁面の散逸を含む吸音率  $\alpha_f$  であるのに対し、陽表現(4)は開口のみの散逸率  $\delta_{HR}$  である。円形開口(a)、(b)の場合、式(3)による  $\delta_{HR}$  は実験値の  $\alpha_f$  と良好な一致を示す。スリット(c)の場合は開口周辺が 2 次元音場であり、開口を除く壁面散逸の吸音率に与える寄与が比較的大きい[5]、一方、開口周辺が 3 次元音場になる円形開口の場合には開口部の散逸が支配的である

\*An explicit expression for acoustic properties of Helmholtz resonators with non-circular apertures.  
By Michihito Terao, Hidehisa Sekine, Kiyoshi Monjugawa, Masataka Ikeda (kanagawa university)

( $\alpha_F = \delta_{HR}$ )としてよいことがわかる。非円形開口の場合も円形開口と同様に開口周辺は3次元音場であり、その吸音率は開口部の散逸に支配される( $\alpha_F = \delta_{HR}$ )と考えられる。しかし、(e)、(f)のように非円形の度合いが大きくなるにつれて式(3)による $\delta_{HR}$ は過少な散逸率を与える傾向がみられる。そこで試みとして、非円形度を反映するパラメータとして $c_s = a_c / a_r$ を選び、式(3)に代えて実験式

$$R_\lambda = 2R_v c_s^n (l_\lambda + l_R) / S_\lambda a \quad (5)$$

を構成し、実験値に対し最小二乗誤差を与える $\eta$ を求めた。今回の実験範囲では $\eta = 0.46$ が得られ、それによる散逸率は(d)、(e)、(f)に破線で示すように実験値に近づく。ただし、一般性が高い実験式を得るためには多様な開口に対する実験が必要である。

5. まとめ 円形開口に対するIngardの半径経験式に水力半径を導入して非円形開口の音響抵抗の陽的表現を得た。しかし、これによる散逸率は開口の非円形度が強まるにつれて過少値を与える傾向を示した。非円形開口に対する理論モデルの追求は困難であり、非円形度を反映するパラメータを導入した実験式によらざるを得ないものと考えられる。

#### 文献

- [1] U. Ingard, JASA, 25(6), pp.1073-1061, 1953.
- [2] 文殊川ほか, 日本音響学会講演論文集, 2000年3月.
- [3] L. Cremer et al., Principles and applications of room acoustics, Applied science publishers, Chapter IV9, 1982.
- [4] J.M.A.Smits et al., Acoustica, vol.1, 1951.
- [5] 寺尾ほか, 日本音響学会講演論文集, 1995年3月.

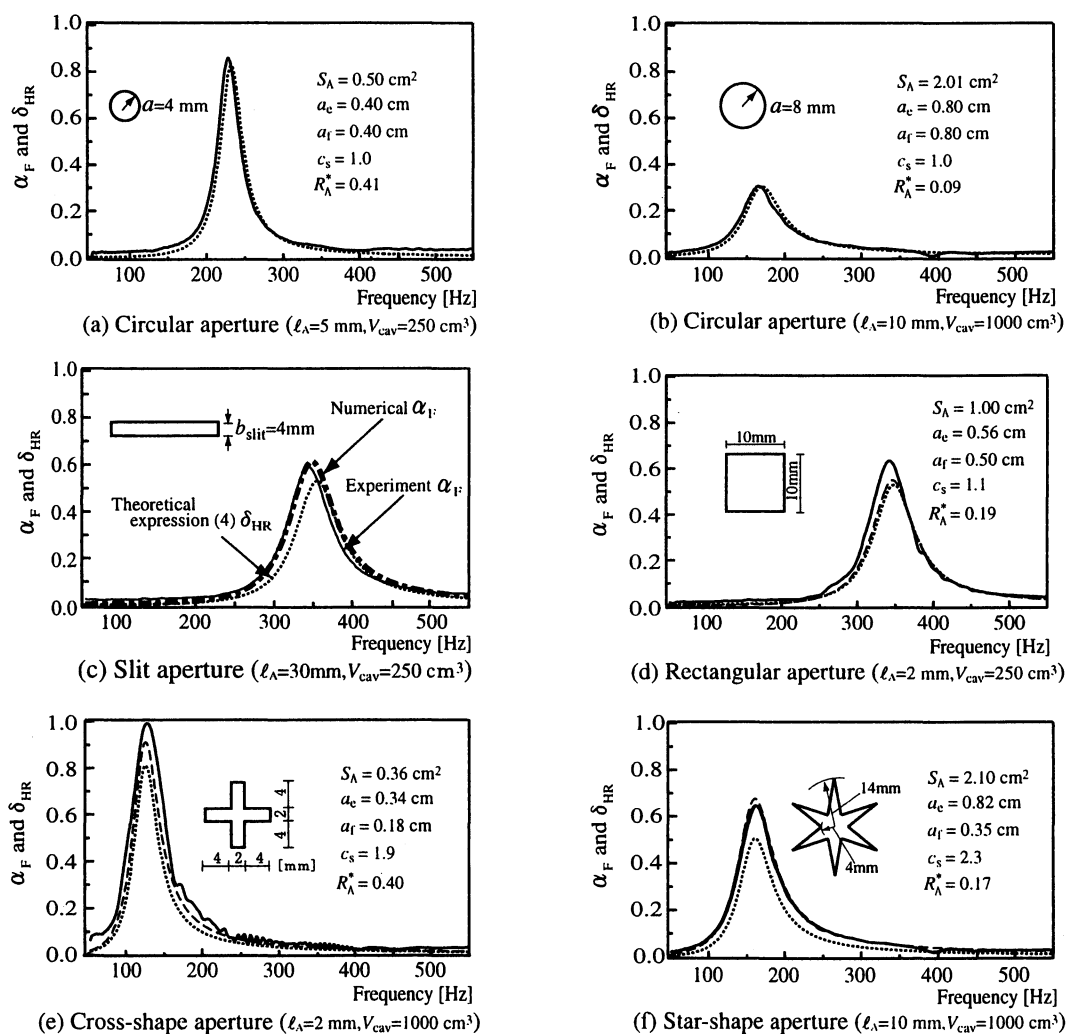


Fig.2 Measured absorption factors  $\alpha_F$  and estimated dissipation factors  $\delta_{HR}$  ( $S_D = 10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$ )

— Experiment, ..... Theoretical expression (3)+(4), --- Empirical expression (4)+(5), -.- Numerical analysis [5]