

○寺尾道仁, 関根秀久, 大川真平, 林大志(神奈川大・工)

1. はじめに 共鳴器の吸音(音響散逸)特性の予測において重要な共鳴器ネック部開口の音響抵抗の陽的表現, とりわけレジスタンス開口端補正(付加抵抗補正長)  $l_r$  については研究が少なく, Ingard の円形開口に対する半経験式[1]および Morse and Ingard のスリットや円形開口に対する理論式[2]を挙げ得るに過ぎない。本研究では, 前報[3]に引き続き実験を行い, 上記の理論式について, その有効性を調べるとともに, 非円形開口(十字形, 星形, スリット開口など)への適用範囲の拡張をはかる。

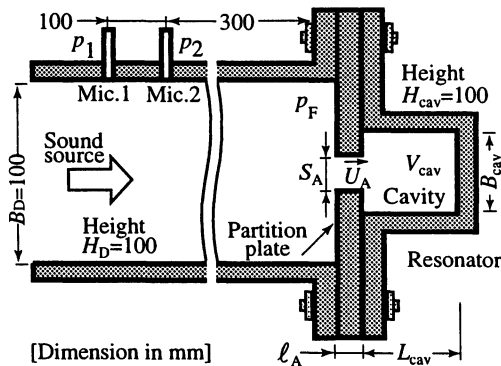


Fig. 1 A Helmholtz resonator at a straight duct end

## 2. Helmholtz 型共鳴器の音響特性陽的表現

2.1 音響インピーダンス Fig.1 は実験装置である(実験方法は [3]参照)。ダクトに端末配置された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。

2.2 音響リアクタンス  $X_{HR} = \omega M_A - 1/\omega C_{cav}$  は音響リアクタンスである。ここで,  $\omega$  は角周波数, また,  $\rho$  を空気密度,  $c$  を空気中の音速として  $C_{cav} = V_{cav} / \rho c^2$  は空洞部(体積  $V_{cav}$ )の音響コンプライアンス,  $M_A = \rho(l_A + l_M) / S_A$  は開口(断面積  $S_A$ , 長さ  $l_A$ )の音響イナータンス,  $l_M$  は付加質量補正長(その具体式については[3]参照)である。

2.3 音響レジスタンス  $R_A$  は開口部の音響レジスタンスで, 式(2) のように表すことができる。

$$R_A = R_{Perim}^{(v)} + R_{Perim}^{(h)} + R_{Plate}^{(v)} + R_{Plate}^{(h)} \quad (2)$$

ここで添字 Perim, Plate, v, および h により, それぞれ, 開口ペリメータ壁面, 仕切り板面(両面), 粘性, および熱伝導による音響抵抗を表す。 $R_{Perim}^{(v)}$  と  $R_{Perim}^{(h)}$  については理論式([2]の (9.1.12)), すなわち,

$$R_{Perim}^{(v)} = \rho \omega d_v L_p l_A / 2S_A^2 \quad (3)$$

$$R_{Perim}^{(h)} = (\gamma - 1) R_{Perim}^{(v)} / \sqrt{Pr} \quad (4)$$

がある。ここで  $d_v = \sqrt{2\mu / \rho \omega}$ ,  $\mu$  は空気の粘性係数,  $\gamma$  は比熱比,  $Pr$  は Prandtl 数,  $l_A$  は開口の長さ,  $L_p$  は開口ペリメータ長である。一方, 仕切り板両面の粘性による音響レジスタンス  $R_{Plate}^{(v)}$  については, 円断面開口に対する理論式([2]の (9.1.23)), すなわち

$$R_{Plate}^{(v)} = (\rho \omega d_v / 8S_A) \ln(4S_A / \pi d_v^2) \quad (5a)$$

また, スリットに対する理論式([2]の (9.1.28)),

$$R_{Plate}^{(v)} = 2(\rho \omega d_v / 2S_A) \{(2 + \pi) / \pi\} \quad (6a)$$

がある。なお, 仕切り板面の  $R_{Plate}^{(h)}$  についても, ここでは式(7) のように表されるものとする。

$$R_{Plate}^{(h)} = (\gamma - 1) R_{Plate}^{(v)} / \sqrt{Pr} \quad (7)$$

2.4 レジスタンス補正長 Ingard は, 音響イナータンスの場合と同様  $R_A$  についても, 式(3)を変形して

$$R_A = 2R_v(l_A + l_r) / S_A a_f \quad (8)$$

の形で表現した[1]。ここで,  $R_v = \sqrt{\mu \rho \omega / 2}$  である。また, ここでは等価摩擦水力半径  $a_f = 2S_A / L_p$  を導入している。 $l_r$  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  $l_r / a_f = 2$  を得ている。Ingard の式(8)に対して,  $R_b = \{1 + (\gamma - 1) / \sqrt{Pr}\} R_v$  としして熱伝導損失を考慮すれば

$$R_A = 2R_b(l_A + l_r) / S_A a_f \quad (5b)$$

と書ける。円断面オリフィスの場合, 式(5a)から

$$l_r / a_f = (1/8) \ln(4S_A / \pi d_v^2) \quad (6b)$$

また, スリットの場合は式(6a)から

$$l_r / a_f = (2 + \pi) / \pi \quad (9)$$

\*Effectiveness of Ingard expressions for resistance end corrections of apertures.

By Michihito Terao, Hidehisa Sekine, Shinpei Ohkawa, Daiji Hayashi (kanagawa university)

3. 共鳴器の音響散逸率 Fig.1 のダクト(ダクト内軸方向平面波) 端末配置共鳴器の場合, その開口の音響散逸率  $\delta_{HR}$  は,  $R_A^* = R_A / (\rho c / S_D)$  として

$$\delta_{HR} = 4R_A^* / \{(1 + R_A^*)^2 + X_{HR}^2\} \quad (10)$$

により表される。開口を除く散逸が無視できるとき, 共鳴器の吸音率は  $\delta_{HR}$  に一致する。

4. 実験結果 Fig.2 は散逸率  $\delta_{HR}$  の極大値について, 各抵抗要素の寄与を例示する。Table.1 はこのようにして得られる散逸率極大値に対する各抵抗要素の寄与を一覧したものである。実験値と比較して, スリット開口に対する理論式(6)は過大な散逸率を与える。一方, Ingard の半経験式( $l_r / a_f = 2$ )は, とくにスリットの場合, 実験値と非常に良い一致を示す。これは式(6b)が  $l_r / a_f = 2$  に近い値をもつことと符合する。

この半経験式は, スリット以外の開口の場合においても, 非円形度  $c_s = a_c / a_f$  が高い場合を除き, 実験値と全般に良好な一致を示している。また, 式(5)はスリット以外の開口で  $l_A$  が大きい場合に実験値との一致がよい。本実験における  $S_A$  の範囲は Ingard の実験のそれ ( $l_r / a_f = 2$  が有効)と同程度である。今後,  $S_A$  が桁違いに大きくなった場合の式(5b)の有効性, また, 数値解析により熱伝導損失の振舞いについて調べる必要がある。

5. まとめ 一般的断面形状を持つ開口の付加抵抗補正長について, 水力半径 1cm 程度以下の開口については Ingard の半経験式がスリットの場合を含めて有効であること, 一方, Morse and Ingard の円形開口に対する理論式は, 開口長さが大きい場合に有効性が高いことを示した。

文献

- [1] U. Ingard, JASA, 25(6), pp.1073-1061, 1953.
- [2] Morse and Ingard, Theoretical acoustics, Chapter 9.1, McGraw-Hill inc., 1968.
- [3] 寺尾ほか, 日本音響学会講演論文集, 2000年9月.

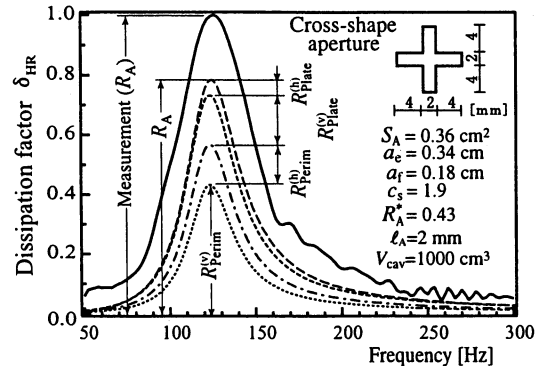


Fig.2 Contribution of resistances on acoustic dissipation (Eq.(5) is used for  $R_{Plate}^{(v)}$ )

Table.1 Comparison of expressions of resistance for dissipation factor

Cross-sectional shape of aperture	Parameter of resonator components						Dissipation factor						
	$c_s$	$a_c$ [cm]	$a_f$ [cm]	$l_A$ [mm]	$V_{cav}$ [cm <sup>3</sup> ]	$R_A^*$	Perimeter wall		Plate wall		$R_A$		
							$R_{Perim}^{(v)}$	$R_{Perim}^{(h)}$	$R_{Plate}^{(v)}$	$R_{Plate}^{(h)}$	Estimation	Measurement	
Circular	1.0	0.4	0.4	5	250	0.41	0.47	0.14	(0.17)	(0.06)	(0.83)	0.86	
									<0.36>		<0.83>		
	1.0	0.4	0.4	10	250	0.52	0.69	0.14	(0.07)	(0.03)	(0.93)	0.94	
									<0.21>		<0.90>		
	1.0	0.5	0.5	2	250	0.23	0.14	0.06	(0.27)	(0.10)	(0.56)	0.62	
									<0.47>		<0.61>		
Square	1.0	0.5	0.5	2	1000	0.16	0.10	0.04	(0.20)	(0.08)	(0.42)	0.48	
									<0.38>		<0.48>		
	1.0	0.8	0.8	10	250	0.12	0.17	0.07	(0.13)	(0.05)	(0.42)	0.43	
									<0.22>		<0.39>		
	1.0	0.8	0.8	10	1000	0.09	0.12	0.05	(0.09)	(0.04)	(0.31)	0.30	
									<0.17>		<0.30>		
Rectangular	1.1	0.56	0.5	2	250	0.19	0.12	0.05	(0.25)	(0.09)	(0.50)	0.57	
									<0.41>		<0.53>		
	1.1	0.56	0.5	2	1000	0.13	0.08	0.04	(0.18)	(0.07)	(0.37)	0.42	
Cross-shape	1.1	0.56	0.5	10	250	0.28	0.41	0.13	(0.12)	(0.05)	(0.71)	0.71	
									<0.25>		<0.67>		
	1.4	0.56	0.4	10	250	0.3	0.48	0.14	(0.10)	(0.04)	(0.76)	0.77	
Star-shape	1.9	0.34	0.18	2	250	0.56	0.55	0.15	(0.17)	(0.05)	(0.92)	0.99	
									<0.37>		<0.92>		
	1.9	0.34	0.18	2	1000	0.4	0.43	0.13	(0.17)	(0.06)	(0.79)	1.00	
									<0.38>		<0.82>		
Slit	1.9	0.85	0.45	2	250	0.1	0.07	0.03	(0.16)	(0.07)	(0.33)	0.38	
									<0.26>		<0.32>		
	1.9	0.85	0.45	2	1000	0.07	0.05	0.02	(0.11)	(0.05)	(0.23)	0.29	
									<0.19>		<0.24>		
Legend	2.3	0.82	0.35	10	250	0.25	0.47	0.14	(0.08)	(0.03)	(0.71)	0.78	
									<0.17>		<0.63>		
	2.3	0.82	0.35	10	1000	0.17	0.36	0.12	(0.07)	(0.03)	(0.58)	0.65	
									<0.15>		<0.51>		
				0.2	10	250	0.29	0.57	0.15	(0.06)	(0.02)	(0.79)	0.72
										<0.08>	<0.03>	<0.82>	
									<0.14>		<0.70>		
				0.2	30	250	0.57	0.89	0.09	(0.01)	(0.01)	(0.99)	0.95
										<0.01>	<0.01>	<0.99>	
										<0.04>		<0.93>	
			0.4	2	250	0.07	0.06	0.03	(0.13)	(0.05)	(0.27)	0.24	
									<0.15>	<0.06>	<0.29>		
									<0.19>		<0.25>		
			0.4	2	1000	0.05	0.04	0.02	(0.09)	(0.04)	(0.19)	0.18	
									<0.11>	<0.05>	<0.22>		
									<0.14>		<0.18>		
			0.4	10	250	0.11	0.22	0.09	(0.09)	(0.04)	(0.42)	0.38	
									<0.10>	<0.04>	<0.44>		
									<0.14>		<0.36>		
			0.4	30	250	0.19	0.46	0.14	(0.04)	(0.02)	(0.66)	0.59	
									<0.05>	<0.02>	<0.67>		
									<0.13>		<0.59>		