

○寺尾道仁, 関根秀久, △大端健治 (神奈川大学)

1. はじめに ヘルムホルツ共鳴器は重要な音響要素であり, 開口およびその近傍が基本的な形状で理論解析可能な場合にたいする開口部の付加質量

(Mass end correction, 共鳴周波数を決定する) についてはほぼ研究し尽くされている[1]が, 流動抵抗とりわけ付加抵抗 (Resistance end correction, 吸音力を決定する) に関しては開口端部曲率に依存し理論解析は困難である[2]. とくに開口近傍形状が複雑で多孔質材層が存在する場合には測定または数値解析に頼らざるを得ない. そこで手始めとして簡便なチューブ内2点マイクロホン法[3]および流動抵抗条件を与えやすい境界要素法による開口部特性の測定および算出の可能性について調べる.

2. ヘルムホルツ共鳴器の特性

Fig.1のような共鳴器の開口部前面からみた単位面積音響インピーダンス Z_F は P_F を共鳴器前面音圧, u_N を開口断面内速度, $\omega = 2\pi f$ (f : 周波数) として

$$Z_F \equiv P_F / u_N = R + j(\omega M - K/\omega) \quad (1)$$

ただし, $K = \rho c^2 S_N / V$ は単位開口面積当たりの背後空間のステイフネス, S_N は開口部断面積, V : 共鳴器容積, ρ : 空気密度, c : 音速, $M = \rho(l_0 + \Delta L_M)$ は開口部単位面積等価質量, l_0 : 開口長 (板厚), ΔL_M : 両開口端にたいする補正長である. $R = R_S(l_0 + \Delta L_R) / r_0$ は流動抵抗係数, r_0 : 開口断面半径 (スリットのときはその幅) である.

$R_S = 1.65 \sqrt{f} \times 10^{-3}$ Rayl は開口内面摩擦による抵抗係数, ΔL_R は付加抵抗補正

長で $\Delta L_R \equiv 2 r_0$ 程度 [2]とされている.

3. 測定および数値解析方法 Fig.1に示したダクト端末型共鳴器について測定および数値解析を行う. 開口断面内粒子速度 u_N は背後空間音圧 P_B を測定し, $u_N = j\omega P_B / K$ の関係により, また, 共鳴器前面音圧 P_F はダクト音源側 P_1 と P_2 の2点マイクロホン法による反射係数 $P_{\bar{1}}/P_1^+$ の測定, 進行波間の関係 $P_1 = P_1^+ + P_{\bar{1}}$, $P_F = P_1^+ \exp(-j\omega L_1/c)$ および $P_{\bar{F}} = P_{\bar{1}} \exp(j\omega L_1/c)$ により求める [3]. 数値解析は部分領域型境界要素法 [5] により, 開口部で寸法1mmの一定要素でモデル化している.

4. 測定および数値解析結果 Fig.2およびFig.3にスリット開口および円断面の測定および数値解析結果を示す. (a) は P_1 での吸音率と開口部での損失との比較, 共鳴周波数が $\text{Im}(Z_F) = 0$, その吸音率が $\alpha_M = (4R/\rho c \sigma) / (1 + R/\rho c \sigma)^2$ (ここで $\sigma = \text{開口面積} / \text{ダクト面積}$) に一致することを確認したものである.

また, (b) には開口端補正長 ΔL_M および流動抵抗係数 R を示す. ΔL_M については, 実験値と数値解析値とは一定の偏

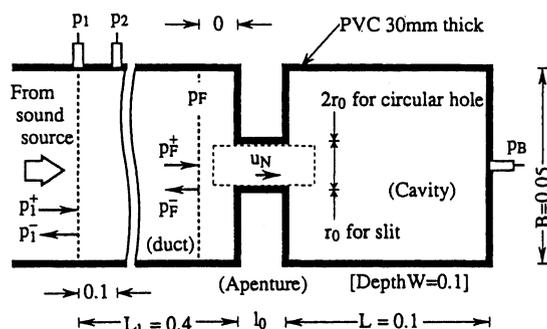


Fig.1 Helmholtz resonator and test setup [Length in m].

*On measurement of flow resistance at aperture of Helmholtz resonator.

By M.Terao, H.Sekine and K.Ohata.

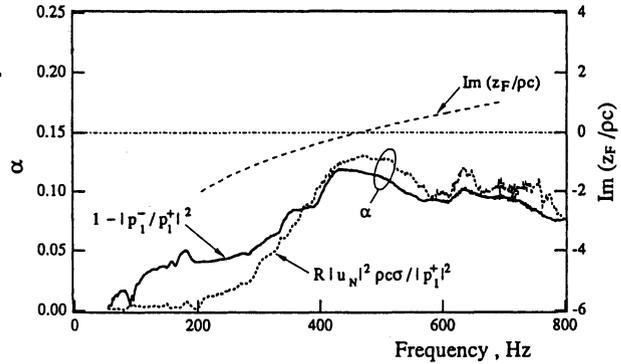
差がみられるが周波数への依存性は概ね一致する。しかし、円断面 [2] の近似理論値 $\Delta L_M / r_0 = 1.6 (1 - 1.4\sqrt{\sigma}) \cong 1.2$ およびスリット [4] のそれ約 1.0 とは一致しない。一方、流動抵抗係数 R については、実験値は開口部以外の損失を含む過大な値しか得られなかった。

Ingard の実験式はその下限となっており、その妥当性は高いものとみられる。今回の数値解析では空気粘性を無視しており流動抵抗係数 R は求め得ない。しかし、開口端断面に集中する流動抵抗係数として実験値を与えた解析値 (細点線) は低周波数側では比較的よく一致する。しかし、周波数に比例的に誤差が増大する傾向があり境界要素寸法、抵抗の集中化や位置などの影響についてなお検討中である。ただし、開口流動抵抗の ΔL_M への影響は少ない。

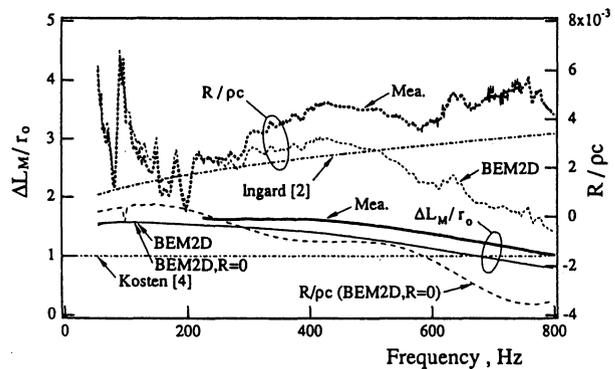
5. まとめ ヘルムホルツ共鳴器開口部の付加質量および流動抵抗係数の簡易な測定法および数値解析法を検討し、開口端補正長 ΔL_M について実験値は従来の理論解析解 [1] とは一致しないこと、これに比較して数値解析結果は有望であること、また、流動抵抗について今回の測定精度はその詳細を調べるには不十分ではあるが Ingard などの近似式は妥当とみられることなどを示した。終わりに本研究費の一部は平成 4 年度文部省科学研究費一般研究 (C) の助成による。記して感謝の意を表したい。

参考文献

- [1] L. Cremer et al, Principles and applications of room acoustics, IV.9, Applied sci. pub., 1982.
- [2] U. Ingard, JASA, (25), Nov., 1953.
- [3] ASTM standard E1050, 1985.
- [4] C.S.Kosten and I.M.Smits, Acustica, 1, 1951.
- [5] 寺尾ほか, 境界要素法研究会論文集, 1987.



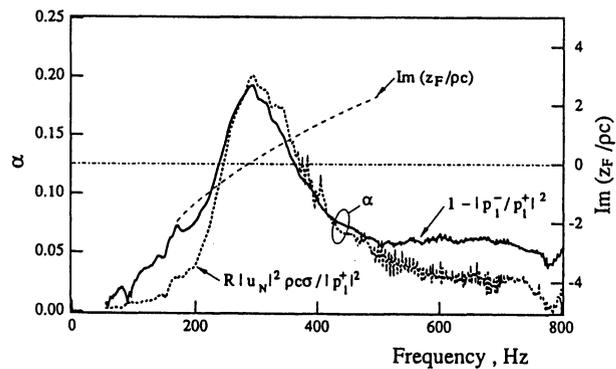
(a) Absorption coefficient α and reactance



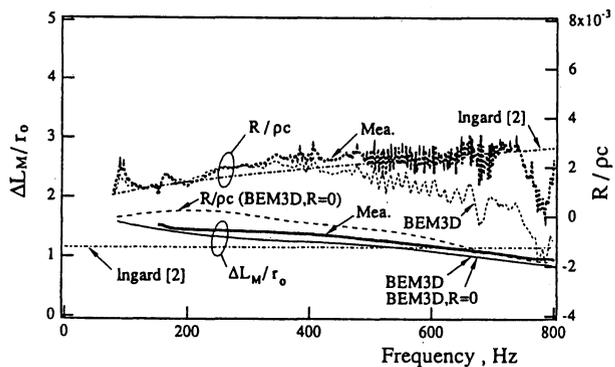
(b) Mass end correction ΔL_M and flow resistance R

Fig.2 Characteristics of a slit aperture

($l_0 = 10 \text{ mm}$, $r_0 = 8 \text{ mm}$)



(a) Absorption coefficient α and reactance



(b) Mass end correction ΔL_M and flow resistance R

Fig.3 Characteristics of a circular hole

($l_0 = 3.5 \text{ mm}$, $r_0 = 8 \text{ mm}$)