

○寺尾道仁, 関根秀久, △大端健治 (神奈川大)

1. はじめに ヘルムホルツ共鳴器開口部の, それぞれ共鳴周波数および吸音力を決定づける付加質量 (Mass end correction) および流動抵抗 (とりわけ付加抵抗: Resistance end correction) に関しては既に多くの研究がある. しかし, 前報[1]に示したように, 開口およびその近傍の形状が極めて単純な場合でも解析的予測精度には限界があり, 開口近傍形状が複雑で多孔質材層が存在する場合は測定または数値解析に頼らざるを得ない. そこで今回は空気粘性を考慮した波動方程式を用いた境界要素法による数値予測を試みる.

## 2. ヘルムホルツ共鳴器開口部の特性

Fig.1 のような共鳴器開口部の単位面積音響インピーダンス  $z_A$  はそれぞれ  $P_F$  および  $P_B$  をその前面および背後音圧,  $u_N$  を開口断面内速度,  $\omega = 2\pi f$  ( $f$ : 周波数) として

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

ただし,  $M = \rho (l_0 + \Delta L_M)$  は開口部単位面積等価質量,  $\Delta L_M$ : 両開口端にたいする補正長,  $l_0$ : 開口長 (板厚) 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,  $\Delta L_R$  は付加抵抗補正長で  $\Delta L_R \approx 2 r_0$  程度 [2] とされている.

## 3. 数値解析方法 遅い流れとしてナビエーストークスの運動方程式および

連続の方程式から圧力を消去すれば, 粘性流体にたいする波動方程式 (熱伝導に関する項は省略) が得られる [3].

$$\{\nabla^2 + (\omega/c_e)^2\} p = 0 \quad (2a)$$

$$c_e^2 = c_0^2 \{1 + j(\omega/\kappa)\mu_T\} \quad (2b)$$

ただし,  $c_0$ : 非粘性空気中の音速,  $\kappa$ : 体積弾性率,  $\mu_T = \mu_B + (4/3)\mu$ ,  $\mu$ : 粘性率,  $\mu_B$ : 体積粘性率である. 数値計算では,  $\mu_T = 0.175 \times 10^{-4} \text{ kg/m}\cdot\text{s}$  ( $\equiv \hat{\mu}_T$ ) とした.

Fig.1 に示したダクト端末型共鳴器について数値解析を行う. 開口断面内粒子速度  $u_N$  は背後空間音圧  $P_B$  の観測および

$u_N = j\omega p_B / K$  (ただし,  $K = \rho c_0^2 S_N / V$  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,  $\rho$ : 空気密度) 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 点音圧比法 [4] による反射係数  $P_1/P_1^+$  の観測, 進行波間の関係

$P_1 = P_1^+ + P_1^-$ ,  $P_F = P_1^+ \exp(-j\omega L_1/c)$  および  $P_F = P_1^- \exp(j\omega L_1/c)$  により求める. 数値解析はスリット開口は 2 次元, 円断面開口は 3 次元の部分領域型境界要素法 [5] によ

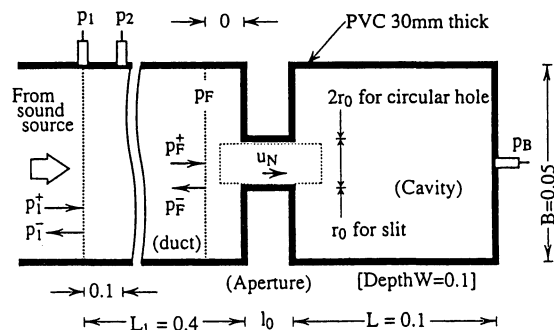


Fig.1 Helmholtz resonator and test setup [Length in m].

\* Boundary element approach to determine acoustical properties of Helmholtz resonator openings.

By M.Terao, H.Sekine and K.Ohata (Kanagawa University)

り、それぞれBEM2D、BEM3Dと略記する。開口部およびその近傍壁面では寸法1mmの一定要素でモデル化している。

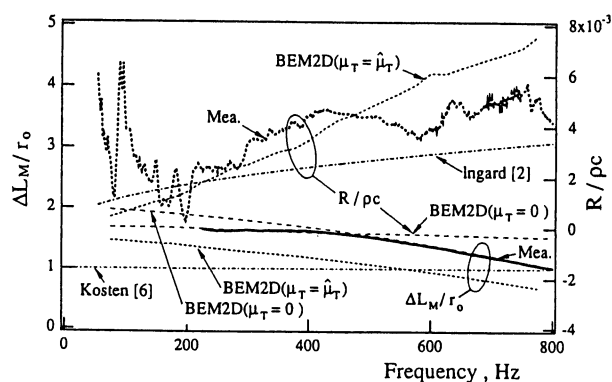
4. 測定および数値解析結果 Fig.2 およびFig.3 にスリットおよび円断面開口の数値解析による開口端補正長  $\Delta L_M$  および流動抵抗係数  $R$  を示す。 $\Delta L_M$  については、実験値[1]と数値解析値とは  $\mu_T = 0$  のときは比較的良く一致する。

しかし、 $\mu_T = \hat{\mu}_T$  として粘性を考慮した計算値はとくにBEM2Dで相違が大きい。なお、近似理論値、円断面 [2] の場合  $\Delta L_M / r_0 = 1.6 (1 - 1.4\sqrt{\sigma}) \cong 1.2$  (ここで  $\sigma = \text{開口面積} / \text{ダクト面積}$ ) およびスリット [6] の場合約1.0によると、共鳴周波数予測は誤差が大きいことが指摘される。

一方、流動抵抗係数  $R$  については  $\mu_T = \hat{\mu}_T$  として粘性を考慮した数値計算結果は実験値[1]やIngardの半経験式[2]と比較して相違が著しい。

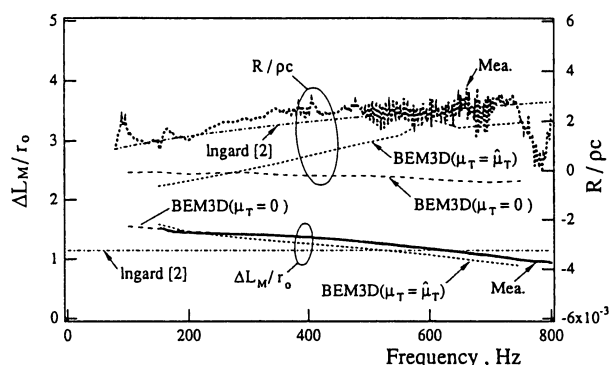
このときの粒子速度分布をFig.4に示す。粘性を考慮した(b)の場合は、粘性を0とし、境界接線方向粒子速度を0と規定しない(a)に比べ、速度勾配が強まり流動抵抗が現れるが、Fig.2に示したようにその大きさは実験値等に必ずしも一致しない。流動抵抗係数については、さらに検討中である。

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について空気粘性を含む境界要素法による数値解析法を試みた。開口端補正長  $\Delta L_M$  については粘性抵抗を0とした数値解析が従来の理論解析解に比較して良好な結果が得られたが、粘性抵抗を考慮した場合には、流動抵抗、開口端補正長とも満足すべき結果を得る迄に至っていない。



Mass end correction  $\Delta L_M$  and flow resistance  $R$   
Fig.2 Characteristics of a slit aperture

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



Mass end correction  $\Delta L_M$  and flow resistance  $R$   
Fig.3 Characteristics of a circular hole

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

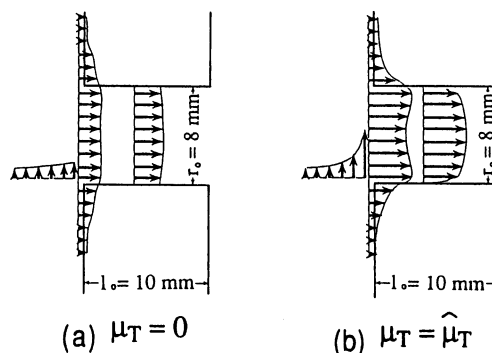


Fig.4 Distribution of particle velocity around the slit aperture [at 450 Hz]

#### 参考文献

- [1] 寺尾ほか, 音響学会講演論文集, 1993.10.
- [2] U. Ingard, JASA, (25), Nov., 1953.
- [3] Allan D. Pierce, Acoustics, ch.10, McGraw-Hill, 1981.
- [4] ASTM standard E1050, 1985.
- [5] 寺尾ほか, 境界要素法研究会論文集, 1987.
- [6] C.S. Kosten and I.M. Smits, Acustica, 1, 1951.