

1987年9月15日至17日

# 第十六届国际噪声控制工程学术会议论文集

北京·科学会堂

## 工业噪声控制

# inter-noise 87

下册

879-1684页

# inter.noise

## 噪聲控制 87

### 分析空气管道声学性质的子结构边界元技术

Michihito Terao and Hidehisa Sekine

Faculty of Engineering  
Kanagawa University  
Rokkakubashi, Yokohamashi  
221, JAPAN

### 导 言

结合子结构技术的直接边界元方法 (BEM) 用来分析含有薄板和多孔材料的管道声场。对于一些消声器和开口管道, 用本文这种边界元法得到的结果与试验值、有限元法结果和理论值作了比较。

### 数值方法

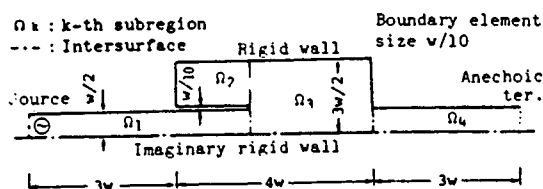
引入一些中间界面, 将声场划分为一些子区域。利用各个子区域上的离散化的亥姆霍兹积分公式, 使用平面四边形等边界单元和高斯求和公式对含有奇异元的边界元进行数值积分, 得到一组线性方程组。对各个子区域逐个建立, 可得到一组联立方程组, 再对它们进行归纳和求解, 即可得到本文的计算结果。

### 应用于具有薄障板的声场

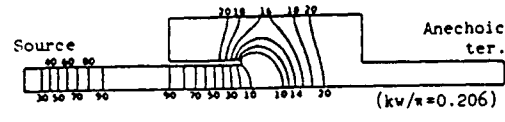
#### 具有薄板的二维扩张室

本文研究了具有内插管的消声器。图 1 为典型的子结构化边界元模型及其结果。这种使用等边界元的边界元法与使用正四边形元的有限元法结果吻合良好。高频区理论与实验值的偏离是由于试验时未能保证完全的刚性壁结构所致。结果说明这种子结构方法能够用来分析具有薄障板的声场。对于这种声场, 如不划分子区域, 直接使用边界元法, 将出现奇点。

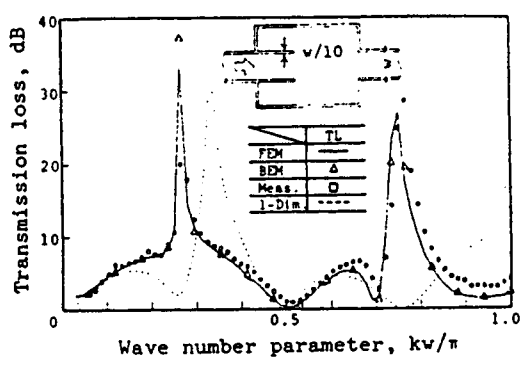
#### 三维开口圆管和矩形管



a) BEM model

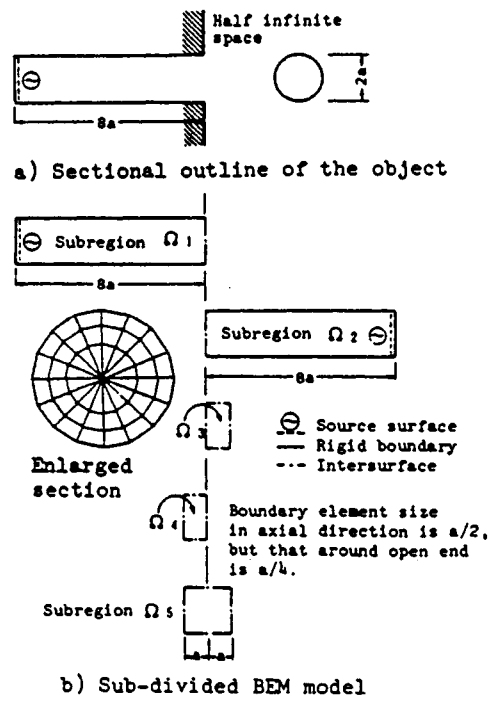


c) Relative sound pressure distribution

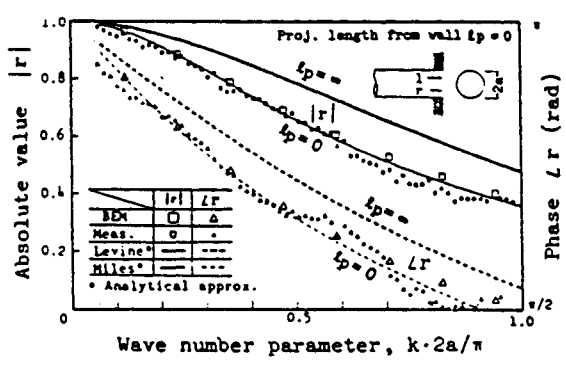


b) Transmission loss

Fig.1 2D expansion chamber



b) Sub-divided BEM model



c) Reflection factor  $r$

Fig.2 Reflection factor of circular duct open end with flush wall.

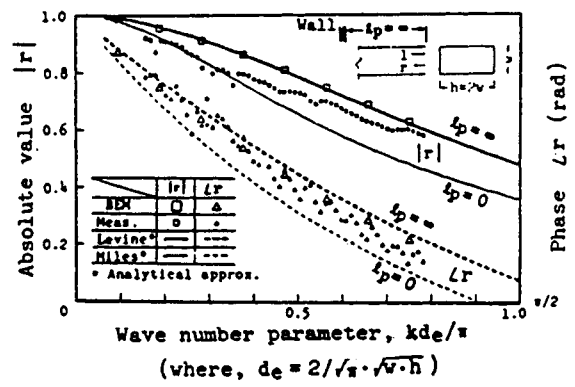


Fig.3 Reflection factor of rectangular duct open end in free space.

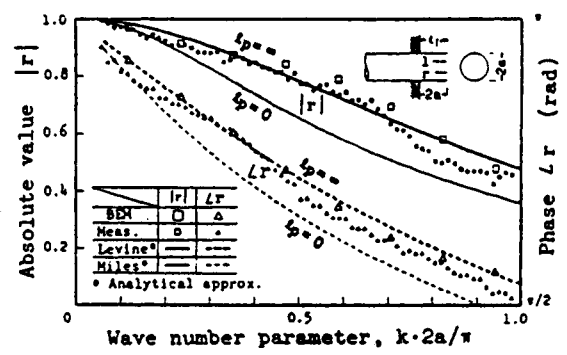


Fig.4 Reflection factor of circular duct open end with finite projection from wall.

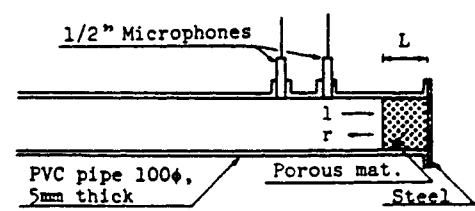


Fig.5 Reflection factor measurement for porous material.

本文研究了由墙面伸出末端开向半无限空间的管道的开口反射。典型结果见图2~4。方形管道的等效直径等于面积和其截面积相等的圆的直径。当考虑的波长小于 $6L_p$ 和大于 $12L_p$ 时( $L_p$ 为伸出墙面的长度), Levine算例( $L_p=\infty$ )(1)和Miles算例( $L_p=0$ )(2)能够粗略地被应用。

## 应用于具有多孔材料的声场

### 多孔材料的声学性质

为了计算积分公式中的自由场格林函数, 必须明确给出多孔材料的有效声速 $c_e$ 或波数 $k_e = \omega/c_{ep} - j\delta_e$  [3]。  $c_{ep}$ 表示相速度,  $\delta_e$ 表示衰减常数。为了在空气与材料交界面上满足连续性方程 $q/q_e = -\rho/\rho_e$ , 材料的有效密度 $\rho_e$ 必须已知。这里 $q$ 是界面外法线方向的压强梯度, 有下标 $e$ 和无下标分别表示多孔材料和空气。

### 确定声学性质的方法

为了确定 $c_e$ 和 $\rho_e$ , 在邻近材料表面空气中用双传声器法测量了反射系数 $\gamma$ , 如图5所示。利用下面两式可以确定 $c_e$ 和 $\rho_e$ 的值。

$$Z_n^* = Z_n / \rho_c = (1 + \gamma) / (1 - \gamma) \quad (1)$$

$$\rho_e c_e / \rho_c = Z_n^* \{ 1 - \exp(-2jk_e L) \} / \{ 1 + \exp(-2jk_e L) \} \quad (2)$$

假定一组试验材料具有相同性质, 则 $\rho_e c_e / \rho_c$ 值与长度 $L$ 无关。对不同长度 $L$ 的两个试件测得 $\gamma$ 或 $Z_n$ , 解式(2)就可得到 $k_e$ 或 $\rho_e, c_e$ 。

### 所有材料的性质

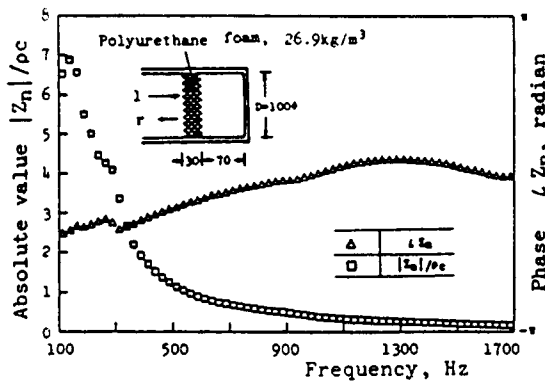
测量得到的材料性质如图6所示。尽管所有试件都是从一块多孔聚氨酯泡沫塑料( $28.9 \text{ Kg/m}^3$ )上切下的。但各长度对的性质仍有差别, 这是由于装入试件时, 很难做到完全一致。

### 具有多孔材料消声器的数值结果

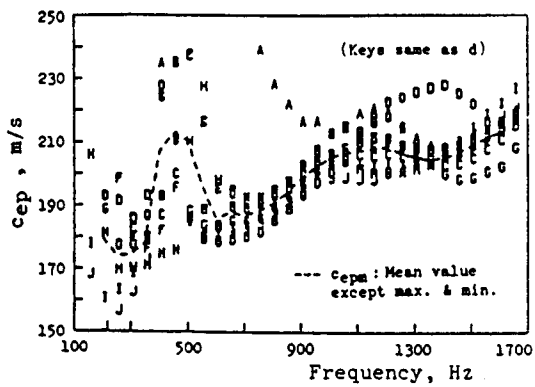
图7所示是所研究的消声器及其结果。采用各个频率上去掉最大和最小值后的平均值 $c_{epm}, \delta_{em}, \rho_{em}$ , 并利用 $c_e$ 和 $\rho_e$ 的这种二维边界元法(2D BEM)被证明是有效的。

## 结 论

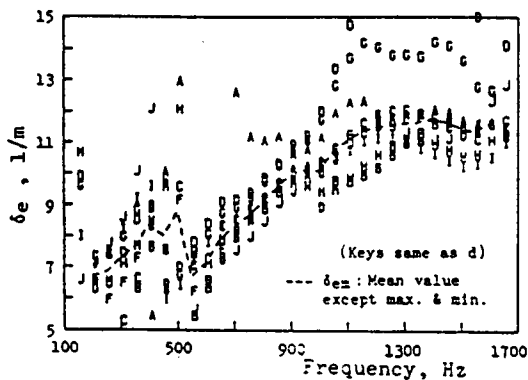
对于一些开口管及带有薄障板及多孔材料的消声器, 用本文方法得到的结果与相应的试验值、有限元法结果和理论值比较表明, 本文这种子结构化的直接边界元法是有效的。



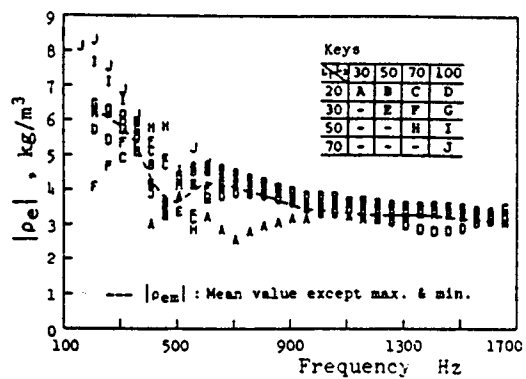
a) Specific normal impedance  $Z_n/\rho c$  for the acoustic component shown



b) Phase velocity  $c_{ep}$

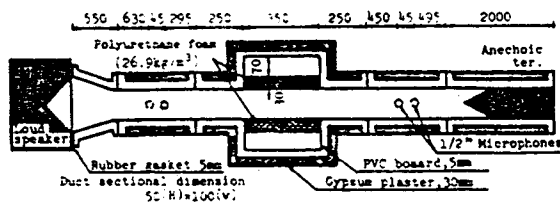


c) Attenuation constant  $\delta_e$

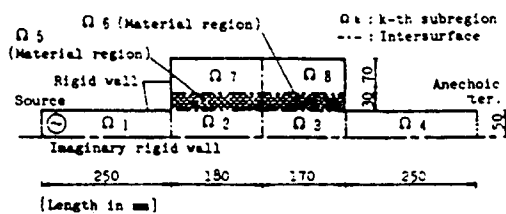


d) Absolute value of effective density  $\rho_e$

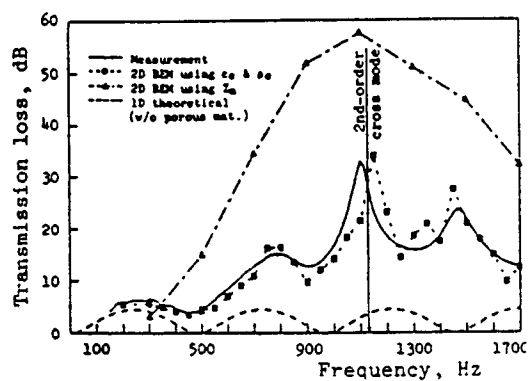
Fig.6 Acoustic properties of the porous polyurethane foam ( $26.9\text{kg/m}^3$ ) measured.



a) Scale model (Length in mm)



b) 2D BEM model (Boundary element size:10 mm)



c) Transmission loss

Fig.7 Expansion chamber with porous materials.

#### REFERENCES

- [1] H. Levine et al, Physical Review, Vol.73, No.4, 1948.
- [2] J.W. Miles, J.A.S.A., Vol.20, No.5, 1948.
- [3] Morse and Ingard, Theoretical Acoustics, McGrawhill, 1968.