

○寺尾道仁, 関根秀久 (神奈川大)

1. はじめに

無限長の吸音材料内貼りダクトの音響減衰量については, 矩形断面の場合 P.Morse(1939), R.Scott (1946) および Kurze [1]による理論式, また, 任意断面形状にたいして R.Astrey ら(1987)による FEM 数値解析がある. ここでは, さらに無限長直管の制約を取り除き長大なダクト音場の解析を可能とするため, 部分的 Gauss-Jordan 解法を導入した部分構造化 BEM を適用し, その有効性を調べる.

2. 部分 Gauss-Jordan 部分構造化 BEM

Fig.1 に示すような Wassilieff[2]の2次元内貼りダクトについて検討した. 部分領域は4節点線素を各辺(2.5cm)とする四辺形としている. 連立方程式の解法はフロント法により部分構造毎に全般的には Gauss 法で消去を進めていくが, 後退代入過程を省略し結果出力を要する領域のみ Gauss-Jordan 解法で実行する[2]. 吸音材料は静的流動抵抗係数を  $8,500 \text{ Pa} \cdot \text{s}/\text{m}^2$  とし, その特性インピーダンス  $Z_e$  および伝搬係数  $\gamma_e$  は Delany ら

(1970)のモデル, ノーマルインピーダンス  $Z_n$  は  $z_y$  と  $\gamma_y$  を  $y$  方向にたいする  $z_e$  と  $\gamma_e$  として次式を適用した.

$$Z_n = -j(z_y / \rho c) \cot(-j\gamma_y d) \quad (1)$$

3. 内貼りダクトの理論式

矩形無限長の直交非等方性 Bulk reacting 材料内貼りダクトの Kurze 理論は最小減衰モード(基本モード)について

$$w \tan w = \frac{-j\rho\omega q}{z_y \gamma_x} \tan\left(\frac{\gamma_y dq}{\gamma_x l}\right) \quad (2)$$

ただし,  $\gamma_x$  は吸音材料の  $x$  方向の減衰係数,  $z_y$  は  $y$  方向にたいする特性インピーダンス, また,  $w^2 = (\Gamma l)^2 + (kl)^2$ ,  $p^2 = -(\gamma_x l)^2 - (kl)^2$ ,  $q^2 = w^2 + p^2$  とした.

ここで,  $\Gamma$  は空気側の減衰係数で, その実部が求めたい音響減衰量(Nepers/m)である. その解は  $w$  について次の Newton-Raphson 法により得る.

$$w_{k+1} = w_k - f(w_k) / f'(w_k), \quad k = 0, 1, 2, \dots \quad (3)$$

式(2)で  $\gamma_y = \gamma_x = \gamma_e$  とすれば等方性材料の場合の Scott の式が得られ,

$$f(w) = w \tan w + q\rho / \rho_e \tan(dq/l) \quad (4)$$

ただし,  $\rho_e$  は材料内の複素音速で  $\rho_e = z_e \gamma_e / j\omega$  の関係がある. 式(4)の  $w$  に関する微係数  $f'(w)$  は

$$f'(w) = \left[ \frac{2w + \sin 2w}{1 + \cos 2w} \right] + \frac{\rho w}{\rho_e q} \left[ \frac{2qd/l + \sin\{2qd/l\}}{1 + \cos\{2qd/l\}} \right] \quad (5)$$

また, 局所作用材料の場合は  $\Gamma/\gamma_x = 0$  として Morse の式, すなわち, 式(4)および式(5)の第2項がそれぞれ  $-jkl/Z_n$  および 0 となる. 空気側の理論音圧分布は

$$p \sim \exp(-\Gamma x) \cos(wy/l) \quad (6)$$

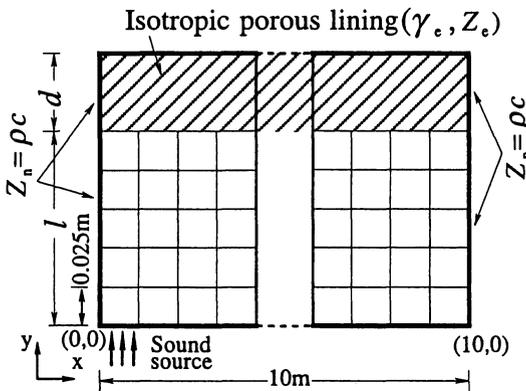


Fig.1 Lining duct of Wassilieff[2]

\* A numerical analysis on lining duct attenuation, by Michihito Terao and Hidehisa Sekine (Kanagawa university).

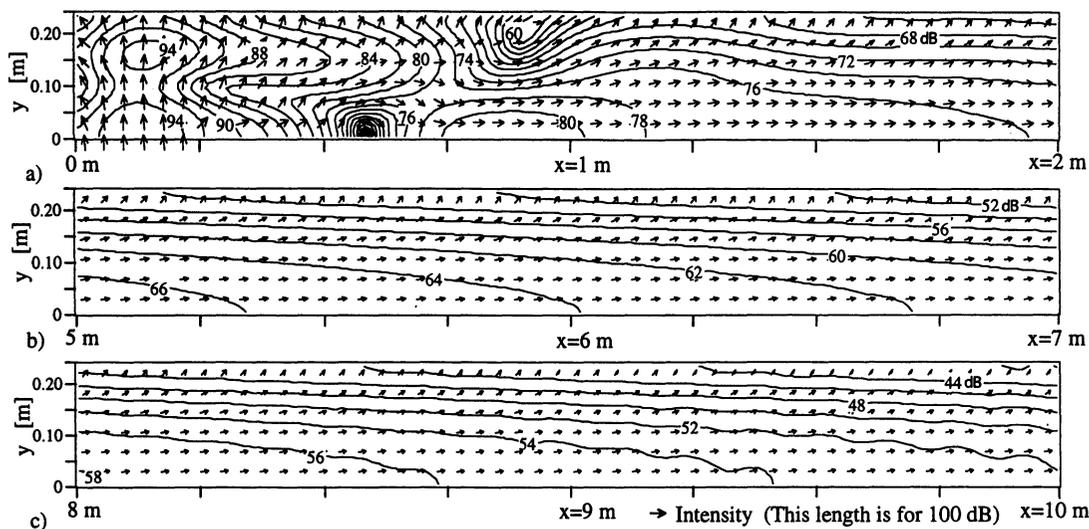


Fig.2 Typical distribution of sound pressure and net-intensity by numerical analysis ( 1300 Hz )

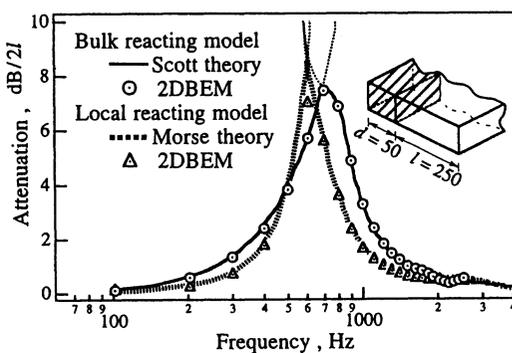
により与えられる[1]. 数値計算ではダクト長を 10m と大きくとりダクト中間部分に現れる無限長直管状態領域（音圧分布が x 位置に独立）において同一 y 位置で x の異なる 2 点の音圧伝達関数から  $\Gamma$  を求める。

#### 4. 数値解析および理論計算結果

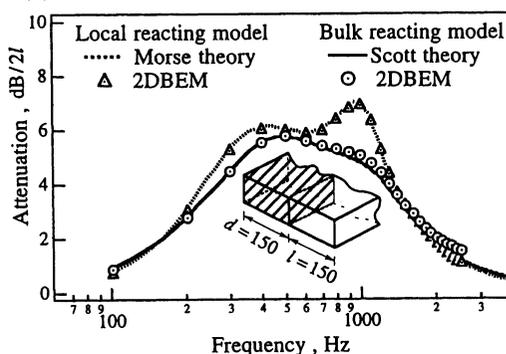
Fig.2 に数値解析の結果得られた音圧分布（例）を示す。基本モード波の減衰が微小で吸音材終端部からの僅かな反射波の影響が残る 100Hz 以下、また、逆にその減衰が大きく数値計算のダイナミックレンジが不足する 680Hz 付近の周波数域を除き、ダクト中間部分に無限長直管状態とみなせる領域が存在する。この領域の 2 点音圧伝達関数から求めた無限長内貼り直管の減衰量を Fig.3 に示す。数値解析値は理論値と良好な一致を示し、理論解の非一意性および無限長矩形断面の制約を克服できる点で有効とみられる。

#### 5. まとめ

長大ダクトの BEM 数値解析を可能とするため部分 Gauss-Jordan 消去法を導入し、無限長内貼りダクトの理論解と比較してその有効性を確認した。



(a) ( $d = 50\text{mm}, l = 250\text{mm}$ )



(b) ( $d = 150\text{mm}, l = 150\text{mm}$ )

Fig. 3 Lining duct attenuation of infinite length  
(Flow resistance  $\sigma = 8,500\text{Pa} \cdot \text{s/m}^2$ )

#### 参考文献

- [1] U. J. Kurze et al, Journal of S&V, 24(1972).
- [2] C. Wassilieff, Journal of S&V, 114(1987).
- [3] 寺尾ほか, 音響学会講論集, 平成 8 年 3 月.