

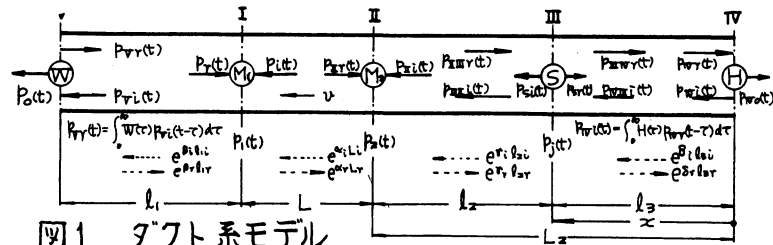
ダクト系騒音の伝搬特性の解析およびその測定法について

正会員 勝田高司*

○正会員 寺尾道仁**

序 前報¹⁾にダクト系内二点の音圧の相互相関係数が、気流を併ないダクト一端より送り込まれる騒音の測定法として優れた特徴を有することを報告した。今回は新たにダクトの吸音、気流、ダクトの断面変化の影響、音源の指向性、分布状音源等を考慮に入れて、図1の如きダクト系基本モデルの系内任意の二断面を音源として取扱うことにより一般化した。

ダクト系騒音伝搬特性の解析 1)波動方程式の線型性、2)ダクト内平面進行波として取扱える低音域では、ダクト端の反射特性を表す重み関数の重ね合せ積分は、入力と単位応答の積で近似しうる、3)音源



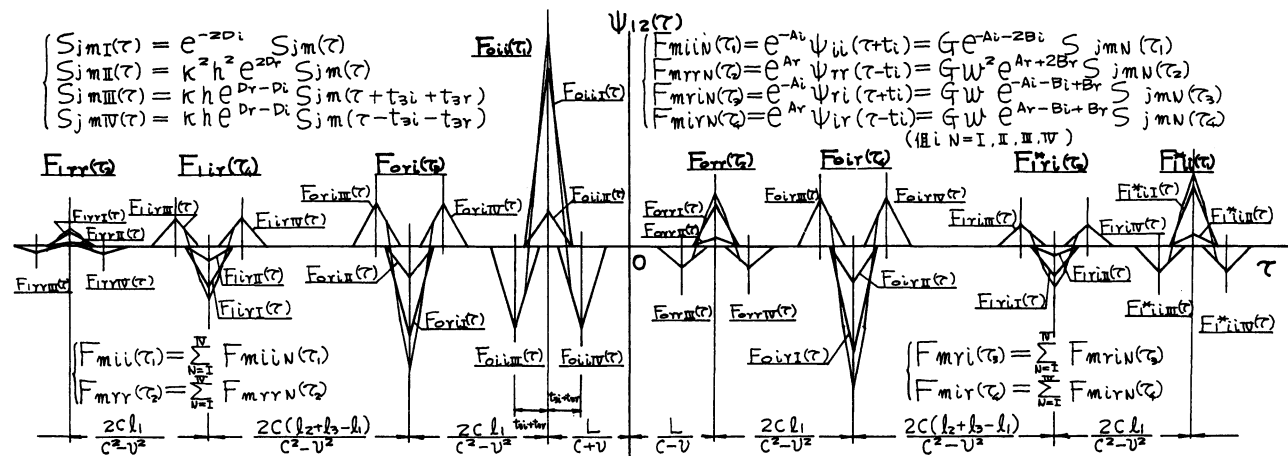
の進行波出力と逆進行波出力は一定の位相関係である。⇒ダクト内の吸音特性は一様である。ホ)風速による周波数変化およびM₁-M₂間の発生音は無視できる。等の仮定のもとに式1、図2を得る。

$$\psi_{12}(\tau) = e^{-A_i} \psi_{ii}(\tau+t_i) + e^{A_r} \psi_{rr}(\tau-t_r) + e^{-A_i} \psi_{ri}(\tau-t_i) + e^{A_r} \psi_{ir}(\tau-t_r)$$

$$= G \{ e^{-A_i - 2B_i} S_{Tj}(\tau_1) + W^2 e^{A_r + 2B_r} S_{Tj}(\tau_2) + W e^{-A_i - B_i + B_r} S_{Tj}(\tau_3) + W e^{A_r - B_i + B_r} S_{Tj}(\tau_4) \} \quad (1)$$

ここに、 $\psi_{12}(\tau)$; M₁, M₂における音圧の相互相関係数, $P_i(t)$, $P_r(t)$; それぞれM₁における進行波, 逆進行波音圧, $P_{si}(t)$, $P_{sr}(t)$; それぞれ音源の進行波, 逆進行波出力音圧, $\kappa = P_{sr}(t)/P_{si}(t)$, C ; 音速, v ; 気流速度, $\psi_{ii}(\tau)$, $\psi_{rr}(\tau)$, $\psi_{si}(t)$, $\psi_{sr}(t)$; それぞれ $P_i(t)$, $P_r(t)$, $P_{si}(t)$, $P_{sr}(t)$ の自己相関係数, t ; 時刻, τ ; 遅延時間, $\psi_{ir}(\tau)$, $\psi_{ri}(\tau)$; それぞれ $P_i(t) - P_r(t)$, $P_r(t) - P_i(t)$ の相互相関係数, $\psi_{jj}(\tau) = \psi_{si}(t) + \psi_{sr}(t) = (1+\kappa^2) \psi_{si}(t)$, $S_{Tj}(\tau) = e^{-2D_i} S_j(\tau) + \kappa^2 h^2 e^{2D_r} S_j(\tau) + \kappa h e^{D_r - D_i} S_j(\tau + t_{3i} + t_{3r}) + \kappa h e^{-D_i + D_r} S_j(\tau - t_{3i} - t_{3r})$, $S_j(\tau) = S_{j0}(\tau) + \sum_{m=1}^{\infty} \{ S_{jm}(\tau) + S_{jm}^*(\tau) \}$, $S_{j0}(\tau) = \psi_{jj}(\tau)$, $S_{jm}(\tau) = (W h e^{\alpha})^m \psi_{jj}(\tau + m t_e)$, m ; 自然数, $S_{jm}^*(\tau) = (W h e^{\alpha})^m \psi_{ii}(\tau - m t_e)$, $G = (1 + \kappa^2)^{-1} (1 - W h e^{\alpha})^{-1} e^{2\alpha i}$, 添字 i, r ; それぞれ進行波, 逆進行波, $\alpha, \beta, \gamma, \delta$; それぞれ無風時, L, l_1, l_2, l_3 における単位長当り減衰定数, $t_{3r} = l_3/c - v = l_{3r}/c$, 且表わす $t_i = L/c + v = L_i/c$, $t_r = L/c - v = L_r/c$, $t_{ii} = l_1/c + v = l_{ii}/c$, $t_{ir} = l_1/c - v = l_{ir}/c$, $t_{3i} = l_2/c + v = l_{3i}/c$, $A_i = \alpha_i l_i$, $A_r = \alpha_r l_r$, $B_i = \beta_i l_i$, $B_r = \beta_r l_r$, $C_i = \gamma_i l_i$, $C_r = \gamma_r l_r$, $D_i = \delta_i l_i$, $D_r = \delta_r l_r$, $t_{3i} = l_3/c + v = l_{3i}/c$, $Q = Q_i + Q_r$, $Q_i = A_i + B_i + C_i + D_i$, $Q_r = A_r + B_r + C_r + D_r$, $W = \int_0^{\infty} W(t) dt$, $h = \int_0^{\infty} H(t) dt$, $t_{3r} = l_3/c - v = l_{3r}/c$, $W(t)$, $H(t)$; それぞれ断面V, 断面Iにおける進行波と逆進行波の重み関数, $t_e = 2C(l_1 + l_2 + l_3 + L)/(c^2 - v^2)$, $\tau_1 = \tau + L/(c+v)$, $\tau_2 = \tau - L/(c-v)$, $\tau_3 = \tau + (L+l_1)/(c+v) + l_1/(c-v)$, $\tau_4 = \tau - (L+l_1)/(c-v) + l_1/(c+v)$,

図2 $\psi_{12}(\tau)$ の基本パターン



分布音源の場合は面音源の重ね合せにより一般式(2)を導くことができる。断面IVからの距離をxとし、音源が x_1, x_2, \dots, x_n の各断面にあって、それぞれの音源の自己相関関数が $S_{jx_1}(\tau), S_{jx_2}(\tau) \dots S_{jx_n}(\tau)$ であるとき、 M_1, M_2 の音圧の相互相関関数 $\psi_{N12}(\tau)$ は、 $e_i = e^{c\delta_i/(c+v)}$, $e_r = e^{c\delta_r/(c-v)}$ とし、

$$\begin{aligned} \psi_{N12}(\tau)/G = & e^{-A_i - 2B_i} \sum_{m=1}^N \{ (e_i^{-2x_m} + k^2 h^2 e_r^{2x_m}) S_{jx_m}(\tau) + k h e_i^{-x_m} e_r^{x_m} [S_{jx_m}(\tau + l_{3i} + l_{3r}) + S_{jx_m}(\tau - l_{3i} - l_{3r})] \} \\ & + w^2 e^{A_r + 2B_r} \sum_{m=1}^N \{ (e_i^{-2x_m} + k^2 h^2 e_r^{2x_m}) S_{jx_m}(\tau) + k h e_i^{-x_m} e_r^{x_m} [S_{jx_m}(\tau + l_{3i} + l_{3r}) + S_{jx_m}(\tau - l_{3i} - l_{3r})] \} \\ & + w e^{-A_i - B_i + B_r} \sum_{m=1}^N \{ (e_i^{-2x_m} + k^2 h^2 e_r^{2x_m}) S_{jx_m}(\tau) + k h e_i^{-x_m} e_r^{x_m} [S_{jx_m}(\tau + l_{3i} + l_{3r}) + S_{jx_m}(\tau - l_{3i} - l_{3r})] \} \\ & + w e^{A_r - B_i + B_r} \sum_{m=1}^N \{ (e_i^{-2x_m} + k^2 h^2 e_r^{2x_m}) S_{jx_m}(\tau) + k h e_i^{-x_m} e_r^{x_m} [S_{jx_m}(\tau + l_{3i} + l_{3r}) + S_{jx_m}(\tau - l_{3i} - l_{3r})] \} \end{aligned} \quad (2)$$

こゝで簡単のため、各部の発生騒音が一律な性質をもち、x間の減衰の無視できる場合、式(2)の各項の相似性からオ一項 $\psi_{N12}(\tau)_I$ について考察すると、 $S_{ju}(\Delta\tau)$ を単位長当りの音源音圧の自己相関関数として、

$$\psi_{N12}(\tau)_I = L_2 (1 + k^2 h^2) S_{ju}(\Delta\tau) + k h \int_{-L_2}^{L_2} \{ S_{ju}(\Delta\tau + l_{3i} + l_{3r}) + S_{ju}(\Delta\tau - l_{3i} - l_{3r}) \} dx \quad (3)$$

注意の精度で $S_{ju}(t_3) = 0$ と近似できる最小時間を t_3 として3式オ2項 $\psi_{N12}(\tau)_I$ は、 $\tau = \Delta\tau + 2c|x|/(c^2 - v^2)$ なる変換により、 $ZC/kh(c^2 - v^2) \cdot \psi_{N12}(\tau)_I = \int_{\Delta\tau - 2C/(c^2 - v^2)}^{\Delta\tau + 2C/(c^2 - v^2)} S_{ju}(\tau^*) d\tau^* \leq 2 \int_0^{t_3} S_{ju}(\tau^*) d\tau^* < S_{ju}(0) \cdot t_3$ (4)

騒音測定のためには、式(3)オ2項がオ1項に比較して無視できれば良い。特に $S_{ju}(0)$ を測定する場合(1)は $(1 + k^2 h^2) L_2 \gg kh(c^2 - v^2)/2c t_3$ と満足すれば良い。

式(1)から種々の関係式を得る。一例を示すと、音源パワ $S_{ju}(0)$ とダクト端放射パワ P_0 の関係は、

$$P_0 = e^{-\alpha_i} (e^{-A_i} - w^2 e^{A_r}) / (1 + k^2) (1 - w^2 h^2 e^{2\alpha}) \{ (e^{-2D_i} + k^2 h^2 e^{2D_r}) S_{ju}(0) + 2k h e^{D_r - D_i} S_{ju}(l_{3i} + l_{3r}) \} \quad (5)$$

ダクトLにおける減衰は、 $e^{A_i - A_r} = F_{oir}(\Delta\tau) / F_{ori}(\Delta\tau) = F_{orr}(\Delta\tau) \cdot F_{oii}(\Delta\tau) / (F_{ori}(\Delta\tau))^2$ より求め得る。

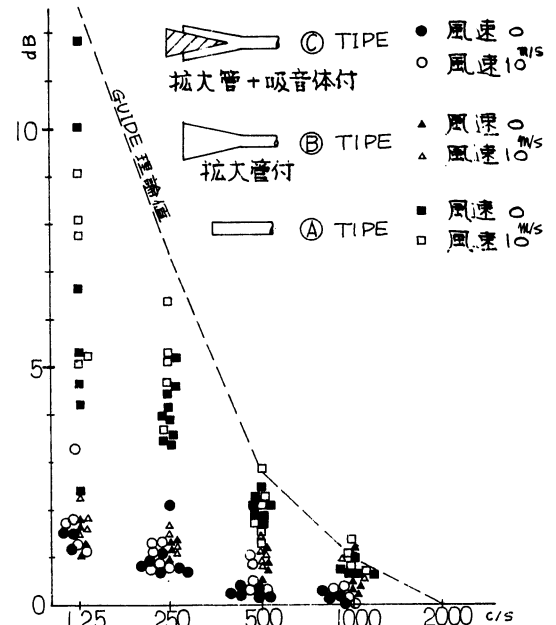
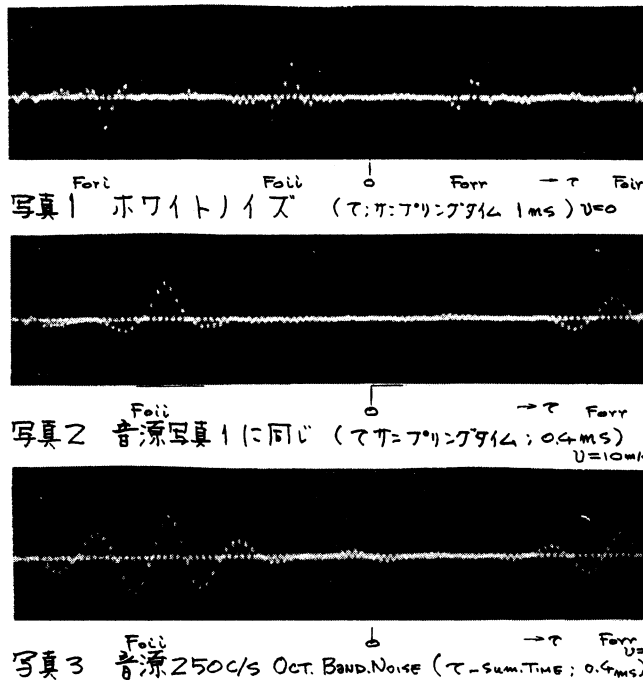


図3 開放端反射減衰量の変化

応用実験結果 $\psi_{12}(\tau)$ の理論式との対応を主目的として、音源の性質、気流速度、ダクト端条件等を変化させて予備的な実験を行なった。写真1~写真3はその一例であるが、理論式と一致したパターンをもち、風速や吸音力による変化も妥当なものであった。また、20 m/s 近の測定では気流の圧力変動は数 cm の距離ですべて独立であった。なお、付随的にAバツフル無しダクト端、B拡大管付ダクト、C、拡大管および吸音くさび付のダクトの開放端反射減衰量を求めてみたので図3に示す。Aの場合については、今回、精度の望めないアナログ処理であったため、L部の吸音を含めた過小な測定値となった。

終りに、実験に協力された、当時日大卒業生柴野、大塚両君に、記して謝意を表します。

文献1) 勝田・寺尾; 相関技術の応用によるダクト系騒音の測定法 日本建築学会大会要覧 昭44, P33

* 東京大学生産技術研究所 教授 工博 ** 東京大学 大学院 工修