

2-4-11 ダクト系騒音の相関関数による解析法について*

寺尾 道仁 勝田 高司 (東京大学生産技術研究所)

序. ダクト系二点の音圧の相互相関関数から、騒音源、進行波、逆進行波、音波の減衰、ダクト端の特性、流速等の間の関係を解析し、気流に伴うダクト系騒音の進行波、逆進行波の分離測定法として優れた特徴を有することと明らかにし、実験的に検討した。

解析. 図1のようなダクト系の基本モデルに於いて、系内任意の二断面と音源として、波動方程式の線型性、ダクト端の

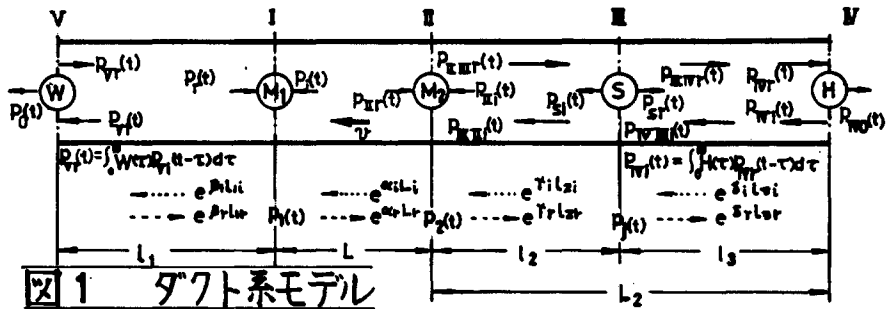


図1 ダクト系モデル

反射特性を表わす重み関数による重ね合わせ積分が近似的に入力と単位応答の積で扱え、かつ平面進行波として扱える低周波、音源の進行波方向出力と逆進行波方向出力は一定の位相差、直管ダクト内の減衰は一樣、風速による観測点の周波数変化や M_1-M_2 間の発生騒音は無視できる等の仮定のもとに系内二点の音圧の相互相関関数を求めると式1, 図2のようになる。

$$\psi_{12}(\tau) = e^{-\alpha_1 L_1} \psi_{ii}(\tau+t_i) + e^{-\alpha_r L_r} \psi_{rr}(\tau-t_r) + e^{-\alpha_2 L} \psi_{ri}(\tau-t_i) + e^{-\alpha_r L_r} \psi_{rr}(\tau-t_r) \\ = G \{ e^{-\alpha_1 L_1} S_{ij}(\tau) + w^2 e^{-\alpha_r L_r} S_{ij}(\tau_2) + w e^{-\alpha_2 L} S_{ij}(\tau_3) + w e^{-\alpha_r L_r} S_{ij}(\tau_4) \} \quad (1)$$

ここに、 $\psi_{12}(\tau)$: M_1, M_2 に於ける音圧の相互相関関数, $P_i(t), P_r(t)$: 各々 M_1 に於ける進行波, 逆進行波音圧, $P_{s1}(t), P_{sr}(t)$: 各々音源の進行波, 逆進行波出力音圧, C : 音速, $\psi_{ii}(\tau), \psi_{rr}(\tau), \psi_{ri}(\tau), \psi_{rr}(\tau)$: 各々 $P_i(t), P_r(t), P_{s1}(t), P_{sr}(t)$ の自己相関関数, t : 時刻, $\psi_{ri}(\tau), \psi_{rr}(\tau)$: 各々 $P_i(t), P_r(t), P_r(t) - P_i(t)$ の相互相関関数, $K = P_{sr}(t)/P_{s1}(t)$, U : 気流速度 $\psi_{ij}(\tau) = \psi_{sij}(\tau) + \psi_{srr}(\tau) = (1+K^2) \psi_{sij}(\tau)$, 添字 i, r : 各々進行波, 逆進行波を表わす, $S_{ij}(\tau) = e^{-\alpha_j \tau} S_{ij}(\tau) + K^2 h^2 e^{-\beta_j \tau} S_{ij}(\tau) + K h e^{-\alpha_j \tau} S_{ij}(\tau + t_{ai} + t_{ar}) + K h e^{-\beta_j \tau} S_{ij}(\tau - t_{ai} - t_{ar})$, m : 自然数 $S_{ij}(\tau) = S_{j0}(\tau) + \sum_{m=1}^{\infty} \{ S_{j1m}(\tau) + S_{j1m}^*(\tau) \}$, $S_{j0}(\tau) = \psi_{ij}(\tau)$, $S_{j1m}(\tau) = (w h e^{\alpha_j})^m \psi_{ij}(\tau + m t_1)$, $S_{j1m}^*(\tau) = (w h e^{\alpha_j})^m \psi_{ij}(\tau - m t_1)$, $G = (1+K^2)^{-1} (1 - w^2 h^2 e^{2\alpha_j})^{-1} e^{2\alpha_j t_i}$, τ : 遅延時間, $\alpha, \beta, \gamma, \delta$: 各々無風時, L, l_1, l_2, l_3 に於ける単位長当り減衰定数, $t_i = \frac{L_1}{c+v} = \frac{L_1}{c}$, $t_r = \frac{L_r}{c-v} = \frac{L_r}{c}$, $t_{i1} = \frac{l_1}{c+v} = \frac{l_1}{c}$, $t_{r1} = \frac{l_1}{c-v} = \frac{l_{1r}}{c}$, $t_{a1} = \frac{l_2}{c+v} = \frac{l_{a1}}{c}$, $t_{ar} = \frac{l_2}{c-v} = \frac{l_{ar}}{c}$, $t_{a2} = \frac{l_3}{c+v} = \frac{l_{a2}}{c}$, $t_{ar} = \frac{l_3}{c-v} = \frac{l_{ar}}{c}$, $A_i = \alpha_i L_i$, $A_r = \alpha_r L_r$, $B_i = \beta_i l_{i1}$, $B_r = \beta_r l_{r1}$, $C_i = \gamma_i l_{a1}$, $C_r = \gamma_r l_{ar}$, $D_i = \delta_i l_{a1}$, $D_r = \delta_r l_{ar}$, $Q = Q_i + Q_r$, $Q_i = A_i + B_i + C_i + D_i$, $Q_r = A_r + B_r + C_r + D_r$, $w = \int_0^t W(t) dt$, $h = \int_0^t H(t) dt$, $W(t), H(t)$: 各々断面 V, 断面 II に於ける進行波, 逆進行波の重み関数, $t_1 = \frac{L}{c+v} (l_{i1} + l_{a1} + L)$, $t_1 = \tau + t_i$, $t_2 = \tau - t_r$, $t_3 = \tau + t_i + t_{i1} + t_{r1}$, $t_4 = \tau - t_r - t_{r1} - t_{i1}$, $F_{m1i}(\tau) = e^{-\alpha_1 L_1} \psi_{ii}(\tau+t_i) = G e^{-\alpha_1 L_1} S_{ijm}(\tau)$, $F_{mrr}(\tau) = e^{-\alpha_r L_r} \psi_{rr}(\tau-t_r) = G w^2 e^{-\alpha_r L_r} S_{ijm}(\tau_2)$, $S_{ijm}(\tau) = e^{-\alpha_j m \tau} S_{ijm}(\tau)$, $F_{mri}(\tau) = e^{-\alpha_2 L} \psi_{ri}(\tau-t_i) = G w e^{-\alpha_2 L} S_{ijm}(\tau_3)$, $F_{mir}(\tau) = e^{-\alpha_r L_r} \psi_{rr}(\tau-t_r) = G w e^{-\alpha_r L_r} S_{ijm}(\tau_4)$, $S_{ijm}(\tau) = K^2 h^2 e^{-\alpha_j m \tau} S_{ijm}(\tau)$, $S_{ijm}(\tau) = K h e^{-\alpha_j m \tau} S_{ijm}(\tau + t_{a1} + t_{ar})$, $S_{ijm}(\tau) = K h e^{-\beta_j m \tau} S_{ijm}(\tau - t_{a1} - t_{ar})$, $N = I, II, III, IV$,

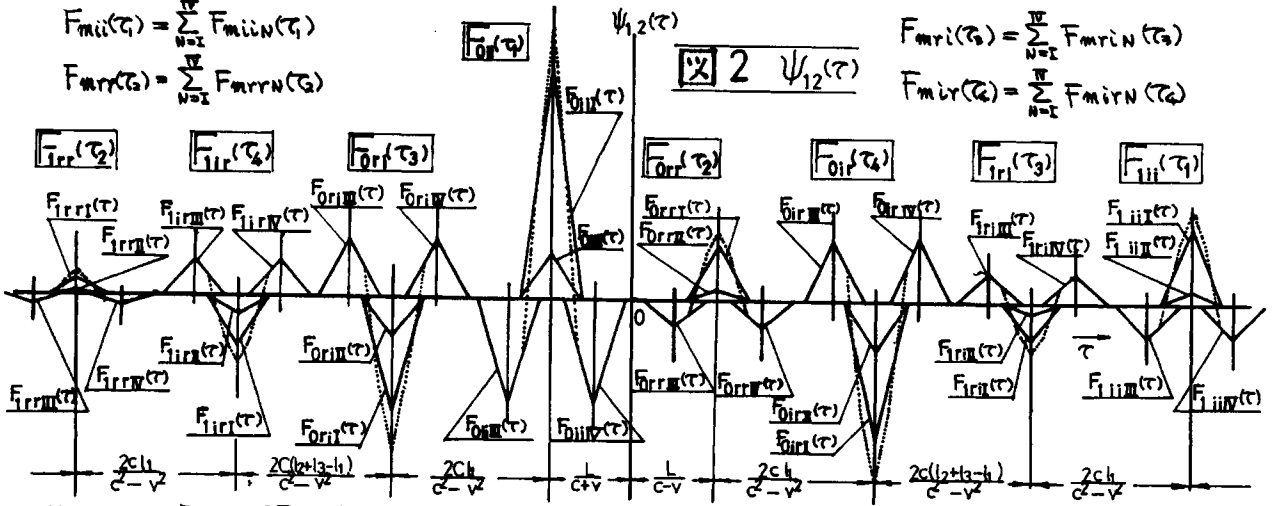
*a Method for Measuring of Ventilation System Noise by use of the Correlation Techniques; by Michihito Terao & Takashi Shoda (Institute of Industrial Science, University of Tokyo)

$$F_{mi}(t) = \sum_{n=1}^N F_{miN}(t)$$

$$F_{mr}(t) = \sum_{n=1}^N F_{mrN}(t)$$

$$F_{mi}(t) = \sum_{n=1}^N F_{miN}(t)$$

$$F_{mr}(t) = \sum_{n=1}^N F_{mrN}(t)$$



式1から種々の関係式が導かれる。例えば直管ダクトの気流による発生騒音等分布状の音源については、式1の重置により解析され、測定対象区間Lの単位長当りの発生音源音圧の自己相関関数 $S_{ju}(t)$ は、任意の精度で、

$S_{ju}(t) = 0$ とする最小時間 t_s により、 $L_2 \gg kh(c^2 - v^2) / (1 + k^2 h^2) \cdot 2t_s$ を満足する L_2 を用意すれば測定できる。また、音源パワ $S_j(0)$ とダクト端放射パワの関係は、

$$P_0 = e^{-\alpha_i} (e^{-\alpha_r} e^{\alpha_r}) / (1 + k^2) (1 - w^2 k^2 e^{-2\alpha_r}) \cdot \{ (e^{-2\alpha_i} + k^2 h^2 e^{2\alpha_r}) S_j(0) + 2kh e^{\alpha_r - \alpha_i} S_j(t_{s1} + t_{s2}) \} \quad (2)$$

また、ダクトLにおける減衰は、 $e^{\alpha_i + \alpha_r} = F_{oir}(t) / F_{oir}(t) = F_{orr}(t) \cdot F_{oii}(t) / (F_{oir}(t))^2 \quad (3)$ より求められる。

実験結果. 理論式との対応に主眼を置いて、音源の性質、気流速度、ダクト諸条件等を変化させて簡単な実験を行った。計算結果の一例を写真1, 2に示す。 $\psi_{12}(t)$ は、理論式と一致した遅延時間を中心に対称な自己相関関数の重置したパターンで展開しているものと認められる。また、ダクト径200φにおけるA.バツフル無しダクト端, B.拡大管付ダクト端, C.拡大管および吸音体付ダクト端, D.150φ.バツフル無しダクト端等ダクト端条件と風速による影響と開放端反射減衰量を示したのが図3である。なおAについては測定精度の点でダクト吸収を測定できず、 h 部の吸音をも放射パワとして算定した。

文献 1) 勝田, 寺尾; 建学会, 大会, 昭44, P33.
2) 勝田, 寺尾; 建学会, 大会, 昭45

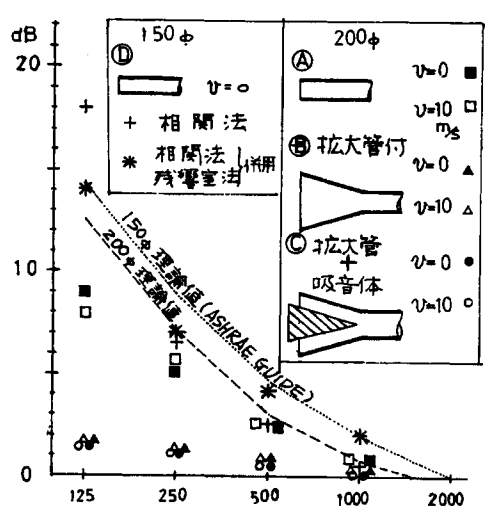
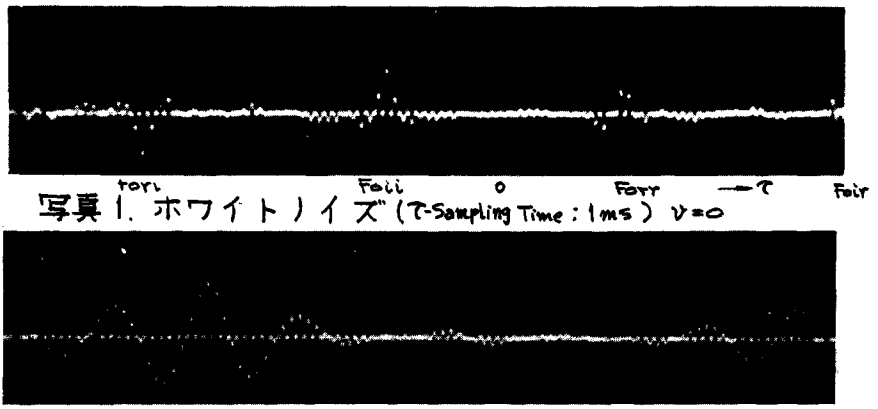


図3 開放端反射減衰量の変化