1－1　粘弾性を有する振動板の音響放射特性について

Sound Radiation Characteristics for the Vibrating plate with viscoelasticity

○武捨　貴昭，菊池　達夫　（防衛庁技本５研）

Takaaki MUSHA, TRDI, Japan Defense Agency, 3-13-1, Nagaura-cho, Yokosuka
Tatsuo KIKUCHI, TRDI, Japan Defense Agency

Key Words: Damping, Acoustic Radiation, Noise Reduction

1．はじめに

制振材料の構造体のダンピングへの応用範囲は、自動車、航空機、船舶、鉄道、建築物等の制振、放射音の抑制など多岐にわたっている。現在、構造物等に対し制振材料を使用し、振動の低減、放射雑音の抑制対策が実施されているが、ダンピングによる放射雑音の低減効果については十分に評価されていない状況と考えられる。このため本研究においてはロス・ファクターを変化させた場合の振動板からの放射音の指向特性を理論的に計算した。筆者らは振動板についてそのロス・ファクターを変化させても必ずしも振動板正面方向の放射音は低減されないことを理論及び実験により確認していたが(1)、この原因が音の放射方向の変化に起因していることを理論的に確かめた。

2．音源重ね合わせ法による放射音圧の計算

振動する板からの放射音を求める場合、次のようなヘルムホルツの積分方程式を用いるのが一般的である。

$$P(R)=\frac{1}{4\pi}\iint_S p\frac{\partial}{\partial n}\left(\frac{e^{jkr}}{r}\right)\cdot dS-\iint_S\frac{e^{jkr}}{r}\frac{\partial}{\partial n}p\cdot dS \qquad (1)$$

図１に示すように、P(R)は空間内の点Rにおける音圧、pは境界上の音圧、nは境界面の法線方向の単位成分である。しかしこの場合、境界上での振動による音圧を決定し、これから更に空間中の音圧を計算しなければならないため計算点数が多く時間がかかり実用的でない。これに対し板の構造が平面的で、音の波長が構造の寸法より小さい場合は振動板の表面に振動速度に応じた点音源が分布していると仮定することが可能である。

このとき、式（１）は単純化でき、板の表面上の音圧pに対する点と空間内の点Rとを結んだ線と法線とのなす角度をβ、kを波数とするとRが十分板より遠距離にあれば音圧Pは、

$$P\approx-\frac{jk}{4\pi}\iint_S(1+\cos\beta)p\left(\frac{e^{jkr}}{r}\right)\cdot dS \qquad (2)$$

のように表される(2)。計算のため板の境界面を図2のように分割し、また、

$$p_i=z_s\cdot v_i \qquad (3)$$

$$\psi_{ij}=1+\cos\beta_i\cdot\cos\beta_j+\cos\beta_i+\cos\beta_j \qquad (4)$$

$$\Phi_{ij}=\theta_i-\theta_j,\quad \varepsilon_{ij}=r_i-r_j \qquad (5)$$

（z_s：板表面の音響インピーダンス、θ_i、θ_j：振動板上の点i、jの振動速度の位相角、r_i、r_j：点i、jと点Rとの距離、ΔS_i：分割面の面積）とすると、PとPの複素共役値P^*の積は、

$$P^2=P\cdot P^*=\frac{k^2z_s^2}{16\pi^2}\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{N}\frac{\psi_{ij}}{r_ir_j}|v_i|\cdot|v_j| \times\cos(\Phi_{ij}+k\varepsilon_{ij})\cdot\Delta S_i\cdot\Delta S_j \qquad (6)$$

となり、これから振動のクロス・スペクトル$S_{ij}=v_i\cdot v_j^*$（v^*はvの複素共役値）を用いてP^2は、

$$P^2=\frac{k^2z_s^2}{16\pi^2}\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{N}\frac{\psi_{ij}}{r_ir_j}\left\{\mathrm{Re}(S_{ij})\cos(k\varepsilon_{ij})-\mathrm{Im}(S_{ij})\sin(k\varepsilon_{ij})\right\}\Delta S_i\cdot\Delta S_j \qquad (7)$$