

弾性体-粘弾性体-多孔体からなる自動車用防音構造のサウンドブリッジの散逸エネルギーのFEM解析

○ 山口 蒼夫 中本 英良 黒沢 良夫 松村 修二
(群馬大) (群馬大院) (富士重工) (富士重工)

Dynamic Analysis of Dissipated Energy for Automotive Sound-proof Structures Including Elastic body, Viscoelastic body and Porous body using FEM in Sound Bridge Phenomena

Takao YAMAGUCHI Yoshio KUROSAWA Shuuji MATSUMURA
(Gunma Univ.) (Fuji Heavy Industries) (Fuji Heavy Industries)

弾性体と粘弾性体、多孔体が混在した構造について散逸エネルギーの数値解析法と応用例を示す。先に提案した混合体の動特性、モード減衰のFEMによる数値解析法をベースに各要素の散逸エネルギーの分担量を近似計算する式を導出した。これを用いて、自動車のフロア防音構造を模擬した制振ビームと樹脂シート、多孔質材からなる吸音二重壁の振動伝達特性の散逸エネルギーを分析した。さらに二重壁間を連結するスペーサによるサウンドブリッジに起因する防振劣化現象を解析した。

Key Words: 制振材, 多孔質材, 有限要素法, モード減衰, MSKE法

1. 緒言

自動車の走行時に発生する騒音の一つとしてロードノイズがある。その対策としてフロアパネルでは制振材を積層したパネルと樹脂シートで多孔質材を挟み込んだ吸音二重壁構造が用いられている。この構造は、制振材によってパネルの共振を抑制し、さらに、多孔質材によって二壁間の振動を分離することで、パネル振動からの放射音が車室内に流入するのを防止する。実際の構造物において、これらのパネルは取り付けなどの必要から、ボルトや溶接などにより連結されることがある。このような連結要素を介して振動が伝達することにより防音、防振効果が劣化してしまうサウンドブリッジ現象が知られている。そのため、連結要素を考慮した解析を行うことが防音構造の最適化を行う上で必要である。

本報告では、弾性体と粘弾性体、多孔体が混在した構造について散逸エネルギーの数値解析法と応用例を示す。

Yamaguchi が先に提案した混合体の動特性、モード減衰のFEMによる数値解析法⁽¹⁾をベースに各要素の散逸エネルギーの分担量を近似計算する式を導出した。これを用いて、自動車のフロア構造を模擬したビームと多樹脂シート、多孔質材からなる吸音二重壁の振動伝達特性の散逸エネルギーを分析した。特に、サウンドブリッジによる防振性能の劣化について分析した。

2. 解析方法

2.1 多孔体内部の音場の離散化⁽¹⁾ 周期加振される非粘性圧縮性完全流体の運動方程式は、微小振幅の条件のもとでは次式となる。

$$\text{grad } s = -\rho\omega^2 \{u_f\} \quad \text{----- (1)}$$

連続の式は次のようになる。

$$s = E \text{div} \{u_f\} \quad \text{----- (2)}$$

$\{u_f\} = \{u_{fx}, u_{fy}\}^T$ であり u_{fx} と u_{fy} は粒子変位の x, y 方向成分である。 s は圧力 p と $s = -p$ なる関係を有する。 E, ρ, ω は体積弾性率、実効密度、角周波数である。

要素内の粒子変位 $\{u_f\}$ と節点の粒子変位 $\{u_{fe}\}$ の関係を内挿関数 $[N_f]^T$ を用いて次のように近似する。

$$\{u_f\} = [N_f]^T \{u_{fe}\} \quad \text{----- (3)}$$

非回転条件 $\text{rot}\{u_f\} = 0$ を考慮し、式(1)から式(3)を用いて運動エネルギー、歪みエネルギー、ポテンシャルエネルギーを求めエネルギー最小原理を用い次式を得る。

$$([K]_{fe} - \omega^2 [M]_{fe}) \{u_{fe}\} = \{f_{fe}\} \quad \text{----- (4)}$$

$$[M]_{fe} = \rho_e [\tilde{M}]_{fe} \quad \text{----- (5)}$$

$$[K]_{fe} = E_e [\tilde{K}]_{fe} \quad \text{----- (6)}$$

$\{f_{fe}\}$ は要素の節点力ベクトル、 $[K]_{fe}$ は要素剛性行列、 $[M]_{fe}$ は要素質量行列である。 ρ_e, E_e は要素内媒質の実効密度、体積弾性率である。 $[\tilde{M}]_{fe}$ と $[\tilde{K}]_{fe}$ は内挿関数とその導関数により構成される行列である。

多孔質材の音響特性を表すモデルが多くの研究者から提案されてきている。その中で、複素実効密度 ρ^* と複素伝搬速度 c^* を用いたモデルがある。 ρ^* と c^* は音響管を用いたimproved cavity法⁽²⁾で容易に計測できる。

本報告では、複素実効密度と複素体積弾性率を多孔体内の音場を表すモデルに用いる。式(5)、式(6)の実効密度 ρ_e と体積弾性率 E_e を以下のように複素数 ρ_e^*, E_e^* とする。

$$\rho_e \Rightarrow \rho_e^* = \rho_{eR} + j \rho_{eI} \quad \text{----- (7)}$$

$$E_e \Rightarrow E_e^* = E_{eR} + j E_{eI} \quad \text{----- (8)}$$

j は虚数単位である。 ρ_{eR} と ρ_{eI} は、複素実効密度 ρ_e^* の実部と虚部である。また、 E_{eR} と E_{eI} は体積弾性率の実部