制振材を積層したビードパネルの振動減衰特性の有限要素解析
(幾何学的な形状が減衰特性に与える影響)

○山口誉夫　　黒沢良夫　　松村修二
(群馬大)　　(富士重工業(株))　　(富士重工業(株))

Finite Element Analysis for Vibration Properties of Stiffened Panel Having Viscoelastic Damping Layer

Takao YAMAGUCHI　　Yoshio KUROSAWA　　Shuuji Matsumura
(Gunma Univ.)　　(Fuji Heavy Industries Co.Ltd.)

全周縁固定,微小振幅の条件のもとで,非拘束型制振材をビード付きパネルに積層した場合の振動減衰問題を取り扱った。ビードの幾何学的形状(長さ,高さ,数)が減衰特性に与える影響に着目し，粘弾性層に複素弾性率を考慮した三次元有限要素解析を用いて詳細に調べた。

Key Words:制振材，有限要素法，ビード，モード減衰

1.　緒　言

自動車の車体パネルには,形状凍結性やパネル剛性を確保するためなどに,図1に示すビードと呼ばれる凹凸をつけて成形されることがある.このような形状は減衰を含めた振動特性に大きく影響をあたえる[(1)~(4)].　著者らは先に非拘束型制振材をパネルに積層した場合の振動減衰の数値計算法を検討してきた[(2),(6),(10)].この時,漸近法により粘弾性体(制振材)と弾性体からなる混合体のモード減衰の計算式を導出し,結果的にJohnsonらが開発したモード歪みエネルギー法[(5)~(8)]と同じ形式の式を得ている[(10)].この解析法と開発したプログラムを用いて,制振材積層ビードパネルの減衰特性を計算し,実験結果と比較し有効性を,すでに示している[(10)].

本報告では,さらにビードの幾何学的な諸元(長さ,高さ)が,減衰特性に与える影響を数値解析により詳細に調べる.

2.　解析方法

応力-歪み関係と歪み-変位関係は次式となる.

$$\{\sigma\}=[D]\{\varepsilon\} \qquad (1)$$

$$\{\varepsilon\}=[A]\{u\} \qquad (2)$$

$\{\sigma\}$は応力ベクトル, $\{u\}$は変位ベクトル, $\{\varepsilon\}$は歪みベクトルである.また $[A]$は微分演算子で構成される行列, $[D]$は弾性率E_e,ポアソン比ν_eで構成される行列である.

内挿関数N_i,$(i=1,2,...)$を用いて要素内の変位$\{u\}$と節点変位$\{u_e\}$の関係を次式のように近似する.

$$\{u\}=[N]^t\{u_e\} \qquad (3)$$

式(1)～式(3)より運動エネルギー$\tilde{T}$歪みエネルギー$\tilde{U}$,ポテンシャルエネルギー$\tilde{V}$を求め,エネルギー最小原理を適用すると次式を得る.

$$([K]_e-\omega^2[M]_e)\{u_e\}=\{F_e\} \qquad (4)$$

ωは角周波数, $\{F_e\}$は力ベクトル, $[K]_e$は要素剛性行列, $[M]_e$は要素質量行列である.

制振材を有限要素で表現するには,式(1)の$[D]$中の弾性率E_eを複素数とする[(9)].これより式(4)中の要素剛性行列$[K]_e$も次式のごとく複素数となる.

$$[K]_e=[K_R]_e(1+j\eta_e) \qquad (5)$$

η_eは要素eに対応する材料の損失係数, $[K_R]_e$は要素剛性行列の実部である.なお,上式はη_eを微小とすることで弾性体をも表現できる.

式(4)を弾性体と粘弾性体が混在する構造の全要素で重ね合わせ,式(5)を用いると次式を得る.

$$\sum_{e=1}^{e_{max}}([K_R]_e(1+j\eta_e)-\omega^2([M]_e)\{u_e\}=\{F\} \qquad (6)$$

ここでe_{max}は要素数である.

式(6)の複素固有値問題は次式となる.

$$\sum_{e=1}^{e_{max}}\Big([K_R]_e(1+j\eta_e)-(\omega^{(n)})^2(1+j\eta_{tot}^{(n)})\times([M]_e\Big)\{\phi^{(n)*}\}=\{0\} \qquad (7)$$

添え字(n)はn次振動モード, $\omega^{(n)}$は複素固有値の実部, $\{\phi^{(n)*}\}$は複素固有モード, $\eta_{tot}^{(n)}$はモード損失係数である.

材料減衰η_e,(e=1, 2, 3, ...e_{max})に関し全要素の中で最大のものをη_{max}とする.また,以下のβ_eを導入する.

$$\beta_e=\eta_e/\eta_{max},\ \beta_e\le 1 \qquad (8)$$

ここで$\eta_{max}<<1$と仮定し,微少量$\mu=j\eta_{max}$を導入し,式(7)の解を漸近展開すると[(7),(8),(10),(11)],

$$\{\phi^{(n)*}\}=\{\phi^{(n)}\}_0+\mu\{\phi^{(n)}\}_1+\mu^2\{\phi^{(n)}\}_2+,... \qquad (9)$$

$$(\omega^{(n)})^2=(\omega_0^{(n)})^2+\mu^2(\omega_2^{(n)})^2+\mu^4(\omega_4^{(n)})^2+,... \qquad (10)$$

$$j\eta_{tot}^{(n)}=\mu\eta_1^{(n)}+\mu^3\eta_3^{(n)}+\mu^5\eta_5^{(n)}+\mu^7\eta_7^{(n)}+,... \qquad (11)$$

ただし,$\beta_e\le 1$であるので$\eta_{max}\beta_e<<1$が成立し$\mu\beta_e$もμと同様に微少量となる.また,