

制振鋼板における振動減衰特性の評価方法の検討

Evaluation Method of vibration-damping property in damping steel sheets

○ 布川 和宏 (秋田高専) 正 木澤 悟 (秋田高専)
正 遠藤 紘 ((株) 道光産業)

Nunokawa KAZUHIRO, Akita National College of Technology

Satoru KIZAWA, Akita National College of Technology

Endo HIROSHI, DOKOSANGYOU CO., LTD

Key Words: : Vibration Damping Properties, Three Layered Plate, Loss Factor

1. 緒言

制振鋼板は振動エネルギーを吸収し、熱として発散して、振動・騒音を大きく減らす機能を持つ材料で、粘弾性材料を2枚の鋼板で挟んだサンドイッチ構造である。一般に制振性能の比較は損失係数(Loss Factor)が用いられるが、JIS(G0602)に定める制振鋼板の振動減衰特性試験方法は、はり状試験片に対してであり、一般的なプレス成形された三層積層鋼板に対して統一的に標準化された制振性能の評価方法は存在しないのが現状である。そこで、先行研究では制振評価を統一的に扱うために、制振鋼板を簡単な1自由度系にモデル化することにより、ほぼ正確な減衰係数を同定することができた。さらに本研究では、高次モードまでの共振・反共振モデルの伝達関数を構築し、伝達関数モデルから減衰特性を推定し、モデルから導出された減衰係数が従来の損失係数と同等に減衰特性の評価指標として妥当であることを検討した。

2. 実験方法

本研究においては損失係数の測定は Fig.1 に示すように、試験片の中央部をインピーダンスヘッドに固定し、インピーダンスヘッドを介して加振器で加振する中央支持、中央加振法を用いた。このときの加振力Fと加速度AをFFTアナライザによって測定し、伝達関数A/F(アクセラランス)の周波数応答を求めた。試験片は基板(拘束板)の厚さが等厚(0.4mm,0.8mm)、不等厚、挟まれている粘弾性材料の厚さの違う物など、条件を変えて合計9種類を用意した。

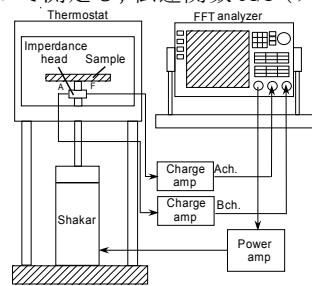


Fig.1 Experimental Device

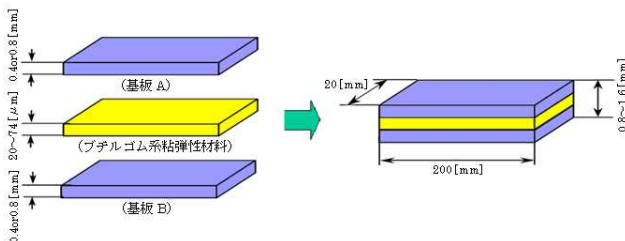


Fig.2 Beams of Test Samples

3. 従来の試験片の低次モデル化と減衰特性

損失係数は周波数応答において、共振周波数のピーク値と-3dB下がった2点の周波数を読み、その差を共振周波数で割ることで得られる半値幅法によって求められるが、ノイズのつた波形から測定すると不確かな値が算出される。そこで、試験片は本来、複数のモードを有する弾性体であるが、簡単化のため、質量、バネ、ダンパから構成される集中質量系と見なし1自由度系のモデルを仮定した。これは、Fig.3の板状の制振鋼板の周波数特性を見ると2次モードもはっきり現れているが、2次モード以降のピーク値が高いため、あまり減衰特性に寄与していないと考えられ、1次モードの減衰特性の評価に注目すればいいためである。そこで、加速度の入力から出力までの2次の伝達関数は

$$G(s) = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2} \quad (1)$$

とおける。なお、モデルの共振周波数は実験値から求められ、等価減衰比は式(1)で示したモデルの伝達関数と実験値の伝達関数をチューニングすることで得られる。

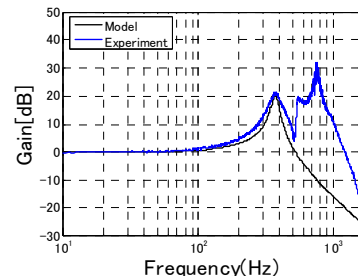


Fig.3 Frequency Response for Plate

4. 試験片の高次モデル化と制振性能の評価方法

一方の梁材は Fig.4に見られるように2次モード以降のゲイン値が低くなるため、2次モード以降も減衰効果に寄与していると考えられる。そのため、梁材をモデル化するためには、従来の1次の共振モードのみを考慮した2次系の伝達関数では不十分であり、高次モードの共振モードまで考慮したモデルが必要である。そこで、各

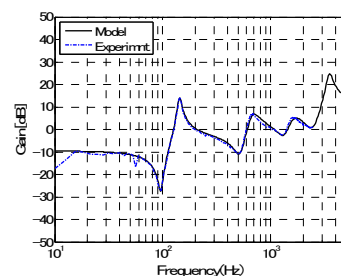


Fig.4 Frequency Response for Beam

モードにおいて、共振・反共振モードの伝達関数を構築し、 n 次モードまでの直列結合とする。すなわち、

$$G(s) = \frac{1}{\alpha} \prod_{i=1}^n \frac{\omega_{nr}^2 (s^2 + 2\zeta_{na} \omega_{na} s + \omega_{na}^2)}{\omega_{na}^2 (s^2 + 2\zeta_{nr} \omega_{nr} s + \omega_{nr}^2)} \quad (2)$$

とおける。なお、共振・反共振モードモデルの共振周波数は実験値から求められ、低次モデル化と同様に等価減衰比は式(2)で示したモデルの伝達関数と実験値の伝達関数をチューニングすることで得られる。同定モデルと実験値の周波数応答をチューニングした結果を Fig.4 に示す。図より提案したモデルの伝達関数は、実験値の周波数特性とほぼ一致しており、各モードの減衰特性もほぼ正確に得られることがわかる。

5. 等価減衰比の評価指標としての検討

5.1 等価減衰比と従来の損失係数との相関

Fig.5 に半値幅法により算出した損失係数と等価減衰比との関係のグラフを示す。図中のプロット点は様々な拘束基板の厚さや粘弾性材料の樹脂の厚さ、そして、1 次モード～3 次モードも含まれており、半値幅法による損失係数と共振・反共振モデルから導出された等価減衰比は相関性があることが確認できる。

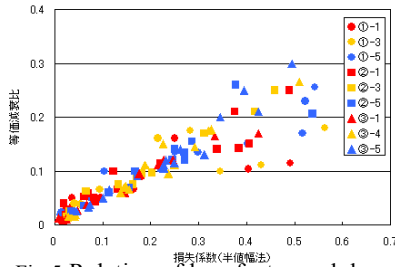
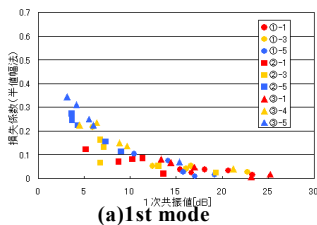


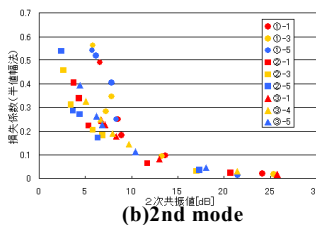
Fig.5 Relation of loss factor and damping ratio

5.2 各共振モードの等価減衰比について

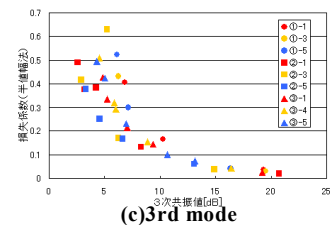
先行研究の事例から減衰特性値と共振ピーク値には相関性があることがわかっている。しかしながら、損失係数の測定精度がわるければ、共振ピーク値と損失係数との相関が見いだせず、結果的に試験片の正確な減衰特性



(a)1st mode

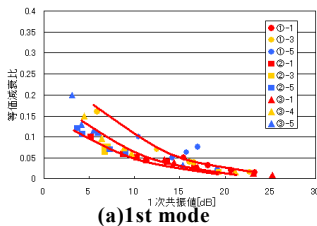


(b)2nd mode

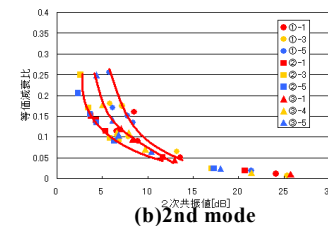


(c)3rd mode

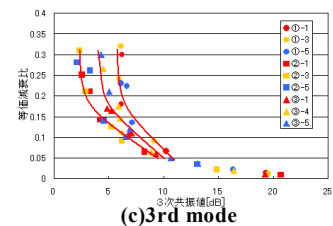
Fig.6 Relation of loss factor and peak gain



(a)1st mode



(b)2nd mode



(c)3rd mode

Fig.7 Relation of damping ratio and peak gain

が得られないことを意味する。そこで、モデルから推定される等価減衰比と従来の損失係数を 1～3 次モードについて比較する。Fig.6 は従来の損失係数と共振ピーク値の関係、Fig.7 は等価減衰比と共振ピーク値の関係であり、(a)1 次モード、(b)2 次モード、(c)3 次モードである。1 次モードを比較すると、減衰が高い領域において等価減衰比の方が拘束板の板厚の違いによる減衰効果の違いがはっきりと現れている。一方、従来の損失係数では、板厚の違いによる減衰効果が判断できない。2 次モードにおいても 1 次モード同様な傾向を示しており、減衰が高い領域において拘束板の板厚の違いによる減衰効果が読み取れる。ただし、3 次モードでは、等価減衰比と従来の損失係数は同様の傾向を示しており、どちらも拘束板の板厚の違いによる減衰効果が判読でき等価減衰比の優位性はない。以上、等価減衰比は、1～3 次の各振動モードにおいて減衰特性の定性的な傾向が明らかとなり、この方法を用いれば複雑な形状の制振鋼板の減衰特性を比較的正確に得ることができ、従来では難しかった複雑な形状の制振鋼板の減衰特性を得るための評価方法となり得ると考えられる。

6. 結言

今回提案した「共振・反共振モデル」は、形状に依存せず、複雑にプレス加工された制振鋼板にも応用できる。また、提案したモデルの減衰特性は実機の周波数特性にチューニングすることで同定させるため、比較的、精度の高い減衰特性、つまり等価減衰比が得られた。また、等価減衰比は従来の評価指標である損失係数と同様な傾向が確かめられた。さらに、提案した「共振・反共振モデル」より求められた等価減衰比は、評価指標として有効であり、従来の損失係数よりも値の信頼性も高く、1～3 次の各振動モードに対しても減衰効果が明確に現れ、減衰特性の評価に対して適切であることが確かめられた。