打撃加振による制振性能評価手法の確立

発　表　者：小林　崇（高分子技術部門）

1.　はじめに

工業製品においては常に振動を発生しているものが多く、共振により振動が大きくなると、周囲の部材に破壊が生じ、これまでに様々な事故が報告されている[1)]。一方で近年の工業製品では、燃費の向上、環境負荷の低減、低コスト化といった要求に対応するため軽量化や材料変更を行っているが、軽量化は振動特性が変化する要因となり、材料変更は予期せぬ共振を発現する恐れがあり、新たに部材破壊や騒音発生が懸念されるため、振動を抑制する制振技術が近年益々重要となっている。材料の制振性能を表す代表的な指標に損失係数があり、JIS G 0602「制振鋼板の振動減衰特性試験方法」では制振鋼板を対象とした減衰法と半値幅法の 2 つの損失係数測定方法が記されている。ここで制振鋼板とは、粘弾性体を 2 枚の金属板で挟んだサンドイッチ構造を有する制振材である。本試験方法は、特別な設備が不要で簡易的に試験ができる一方、詳細な試験方法の記載がなく、試験を安定的に実施していくにはノウハウが必要となっている。そこで本研究では、JIS G 0602 による損失係数測定の試験手法の確立を目的に、減衰法と半値幅法に基づく測定手法を確立し、得られた結果を計算値と比較することで測定の妥当性を評価した。

2.　試験方法

2.1　試料作製

長さ 250 ㎜×幅 15 ㎜×厚さ 1 ㎜の鋼板 2 枚の間に、同サイズの粘弾性体を挟み込んだ制振鋼板試験片を作製した。粘弾性体として、IIR(ブチルゴム)と PET(ポリエチレンテレフタレート)の損失係数の異なると予想される 2 種類の材料を用いた。IIR は厚さ 1.2 ㎜の加硫ゴムシートを、室温下で 1 日以上の圧着により作製、PET は厚さ 0.3 ㎜のフィルムを 160℃×5 分間の熱融着により作製した。

2.2　減衰法による損失係数測定

図 1 に示す JIS G 0602 に規定されているつり下げ打撃加振法に準拠し、試験片を糸で垂直につり下げてインパルスハンマで打撃を行い、加速度センサから得られる加速度を FFT アナライザに入力し時間軸減衰波形(図 2)を取得した。JIS では指数関数的に減少する減衰自由振動波形において隣り合う振幅の比から損失係数を算出すると記されているが、実際には図 2 のような理想的は減衰波形を得られなかったため、打撃の工夫や解析方法の検討を行った。

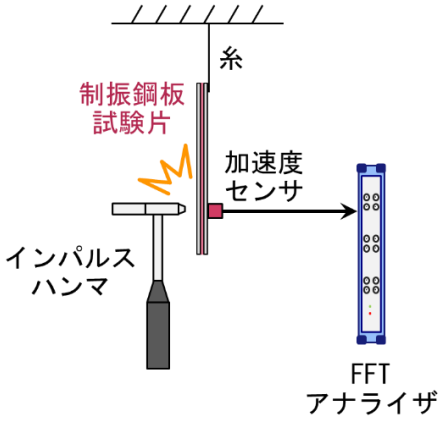


図 1　試験方法模式図

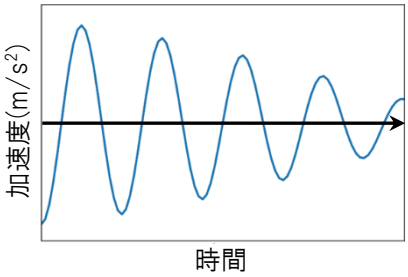


図 2　時間軸減衰波形例

2.3　半値幅法による損失係数測定方法

2.2 と同様の装置構成で、加速度センサから得られる加速度とインパルスハンマから得られる加振力を FFT アナライザに入力し、加振力に対する加速度の比である周波数伝達関数を得た(図 3)。周波数伝達関数の共振ピークにおいて、ピーク値から 3 ｄB 小さい 2 点の周波数を読み取り、その差を共振周波数で除して損失係数を求めた。

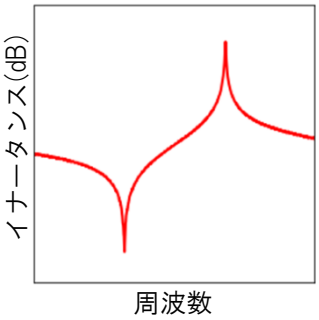


図 3　周波数伝達関数例

2.4　理論式による計算

制振鋼板の損失係数予測式として知られている Ross、Unger、Kerwin の解析モデル（RUK 式）を用いた。式のパラメータである金属板のヤング率や各材料の厚さは既知であり、粘弾性体のせん断貯蔵弾性率及び損失正接は動的粘弾性装置で測定した。波長は試料長さと振動モード形状より算出が可能であり、RUK 式では曲げの振動モードとなる。本測定系では 1～4 次の振動モードを扱った。

$$\eta = \frac{\beta XY}{1 + (2 + Y)X + (1 + Y)(1 + \beta^2)X^2}$$

$$\frac{1}{Y} = \frac{E_1 h_1^3 + E_3 h_3^3}{12 d^2}\left(\frac{1}{E_1 h_1} + \frac{1}{E_3 h_3}\right)$$

$$X = \frac{G_2'}{p^2 h_2}\left(\frac{1}{E_1 h_1} + \frac{1}{E_3 h_3}\right)$$

E_1, E_3　金属板のヤング率　　β　粘弾性体の損失係数
h_1, h_3　金属板の厚さ　　G_2'　粘弾性体のせん断貯蔵弾性率
h_2　粘弾性体の厚さ
$d = h_2 + (h_1 + h_3)/2$
p　波数　$= 2\pi\lambda$
λ　波長

RUK 式及び各パラメータ

3.　結果

3.1　減衰法による損失係数測定

3.1.1　IIR 制振鋼板試験片

加振、センサ位置を特定の箇所に設定することで、図 4 のような 1 次～3 次の時間軸減衰波形を得られ、これらの波形より損失係数を求めることができた。

3.1.2　PET 制振鋼板試験片

測定結果の時間軸減衰波形を図 5 に示す。灰色で表されている部分が実際の測定結果である。PET は減衰が小さく、複数の振動波形が重なっており、測定位置の変更では解析が困難であった。そこで既知の解析方法[2)]を用いることとした。バンドパスフィルタにより、一つの周波数成分のみを抽出(青色)した後にヒルベルト変換を行い、得られた包絡線(黄色のライン)の自然対数を時間に対してプロットしたときの傾きから損失係数を算出することが可能となった。

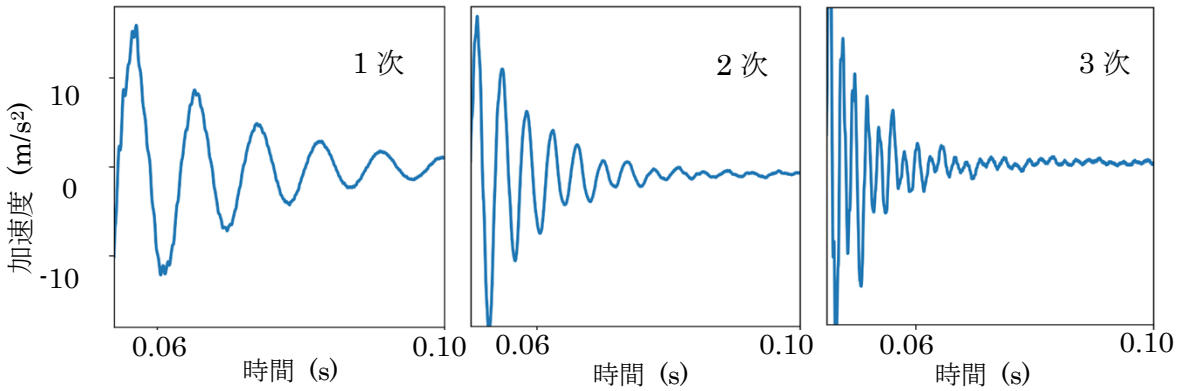


図 4　時間軸減衰波形測定結果(IIR)

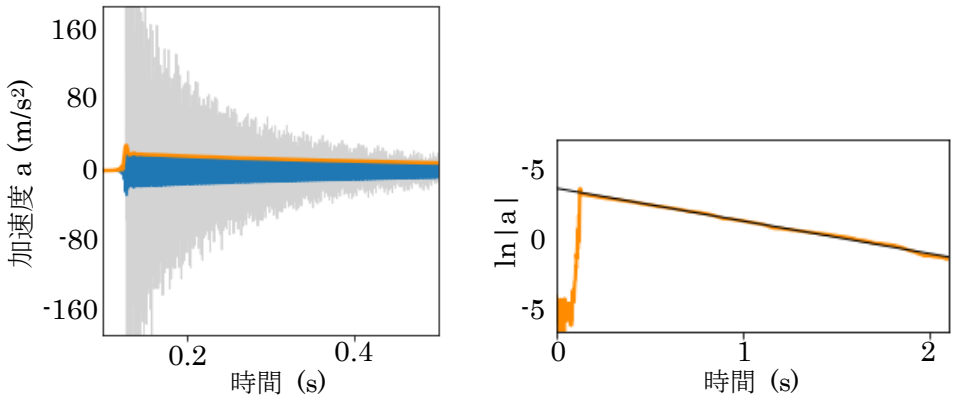


図 5　時間軸減衰波形測定結果(PET)

3.2　半値幅法による損失係数測定

3.2.1　IIR 制振鋼板試験片

JIS G 0602 の方法によって得られた周波数伝達関数結果を図 6 に示す。ピークの左から 1 次、2 次、3 次、4 次の振動モードを表しており、各ピーク値及び 3 dB 小さい周波数幅より損失係数を求めた。

3.2.2　PET 制振鋼板試験片

JIS G 0602 の方法によって得られた周波数伝達関数結果を図 7 に示す。IIR に比べて減衰が小さいため鋭いピークとなっている。こちらも同様に各振動モードのピークが得られ、損失係数を求めた。

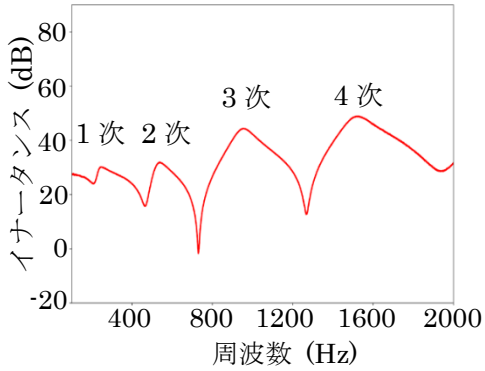


図 6　周波数伝達関数(IIR)

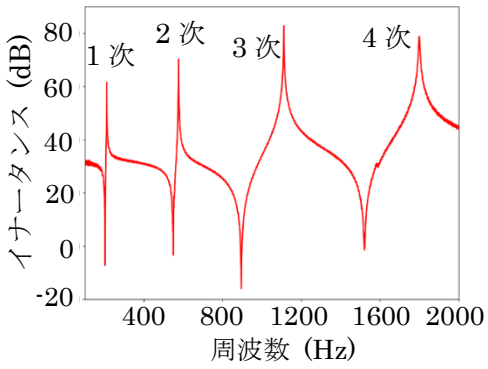


図 7　周波数伝達関数(PET)

3.3　損失係数の測定値と計算値との比較

各測定による損失係数の結果と理論式から求めた損失係数の計算値を次数モードごとにプロットしたグラフを図 8 に示す。一般的に振動の 1 次モードは実験方法の影響を受けやすいため参考扱いにするべきといわれていることから、2〜4 次による比較を行った。IIR は測定結果、計算値共に 10^{-1} オーダーであり、半値幅法と計算値では高次になるにしたがって損失係数が低下する傾向が得られた。PET では測定値、計算値共に 10^{-3} オーダーであり、減衰法、半値幅法、計算値のすべて高次になるにしたがって損失係数が高くなる形状が得られた。これらのことより、制振性能の異なる制振鋼板試験片において、適切な手法を選ぶことで損失係数の評価が可能であり、計算値と同様の傾向が示されたことから測定の妥当性が確認された。

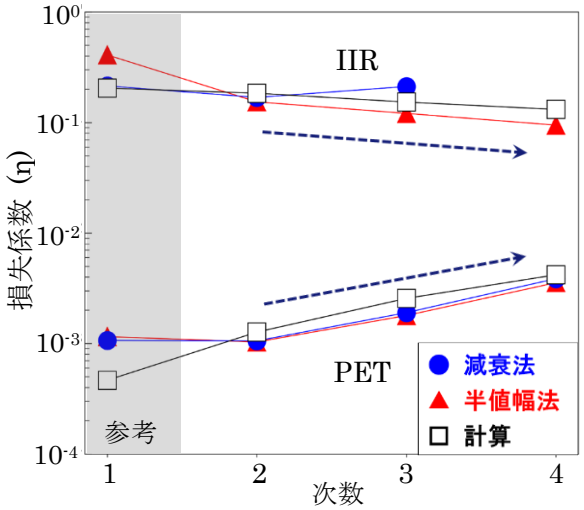


図 8　測定値と計算値の比

4.　おわりに

JIS G 0602 に基づいた損失係数の測定手法を確立した。測定手法を検討したことで、定常的に測定することが可能と考えている。また、本測定系を活用すれば様々な形状の試料でも非破壊で測定することが可能になると期待している。

参考文献

1）角張昭介，星野次郎，成毛竹夫　Journal of the　M.E.S.J.,Vol.9,No.8,（1974）
2）福田隆文，清水久二，鄭暁明　安全工学，41(5)，302-308.（2002）.