

## 制振材貼付による振動抑制効果の検証

梅本 博一<sup>\*1)</sup>

### Inspection of Vibration Reduction Properties with Damping Materials

UMEMOTO Hirokazu<sup>\*1)</sup>

制振材貼付による振動抑制効果を検証するために、ステンレス試験片への貼付条件（非拘束型及び拘束型における制振材の貼付長さ）及び試験環境の温度変化が固有振動数及び損失係数に与える影響について検討した。制振材を貼り付けた試験片の振動減衰特性評価指標として、一般に制振鋼板の振動減衰特性を表す指標として利用されている<sup>1)</sup>損失係数を採用した。また、制振鋼板の振動減衰特性試験方法として規格化されている吊り下げ状態での半値幅法を用いて、損失係数を算出した。その結果、非拘束型の制振材の場合、制振材の貼付長さによらず損失係数は微小であり、制振材無しの場合と比較してもほとんど変化していなかった。一方、拘束型の制振材の場合、制振材の貼付長さの増大にともない損失係数も増大し、試験環境の温度が上昇するにともない損失係数は減少することがわかった。さらに、非拘束型の制振材の場合、固有振動数の値は制振材の貼付長さに関係なくほぼ一定の値を示したが、拘束型の制振材の場合、制振材の貼付長さが増大するにともない固有振動数の値も大きくなることがわかった。

#### 1. 緒言

種々の機械や構造物において振動制御を行う目的は、①外部へ伝搬する振動の最小化、②外部から入力される振動の影響の最小化、③機械自体が発生する振動の最小化に大別することができる。また、機械や構造物のこれら振動制御問題を、防振と制振とに分類する場合もある。

防振技術は、上述の①と②に対応して機械基礎に振動が伝達すること、あるいは外部から機械基礎を通じて機械に振動が伝達することから生じる問題の解決を目指している。一方、制振技術は、上述の③に対応して機械系自体の振動低減を目的としており、機械や構造物の設計・製作・組立などの各段階で対処している。防振と制振の手段として、防振ゴムや動吸収器などが機械や構造物に取り付けられている。この方法は、外部からエネルギー供給を必要としない受動振動制御であり、その効果を有効にするためには機械・構造物の振動特性を明らかにする必要がある。また、制御理論やエネルギー供給を必要とする能動振動制御は、振動特性が明らかでない場合や変動する場合に有効である<sup>2)</sup>。

受動振動制御の一つである機器と基礎の間や機器間にゴムを設置する防振による振動対策は、簡易な方法であるとともに設置が容易なため、多くの場面で使用されている。しかしながら、振動特性を熟知せずに実施した場合、周波数によっては逆に振動を増大させる場合がある。一方、能動振動制御の一つであるアクティブ制振は、大幅な機器の改良が必須であり、制御理論などの専門的な知識も必要となるため、経験のない者が検討するにはハードルが高い。

自動車の室内を静粛にするために、フロアパネルへの塗布などで制振材は広く実用化され、その効果を發揮している。

そこで、本研究では、損失係数をパラメータとした低周波数域での振動抑制効果を明らかにすることを目的とし、能動振動制御に比べて容易に検討することができる受動振動制御の一つである制振材の貼付による振動抑制効果について具体的に検討した。

#### 2. 実験方法

##### 2.1 試験片の作製

JIS G 0602（制振鋼板の振動減衰特性試験方法）<sup>1)</sup>に準拠して作製した試験片（幅 25mm×長さ 250mm×厚さ 2mm）の形態を、図 1 に示す。材質は SUS304 とし、図 1 に示した試験片左箇所⑤の端に、試験片を吊り下げるための穴（ $\phi$  2.0mm）を 2 個設置した。

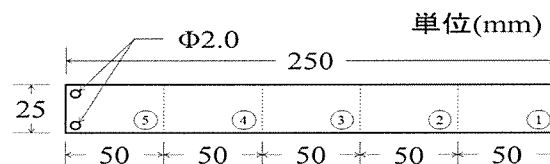


図 1 試験片（厚さ 2.0mm、①～⑤は場所の名称）

<sup>\*1)</sup> 基盤技術・ソリューショングループ

2.2 固有値解析・固有振動数の解析

試験片の振動特性を把握するために、有限要素法による固有値解析を実施した。そのモデルを、図2に示す。解析には、ダッソー・システムズ・ソリッドワークス社製 SolidWorks Simulation を使用した。解析に用いた材料特性は、表1に示した AISI304 とした。また、本研究では中間サーフェスを作成し、厚さを2.0mm と定義したシェル要素として、固有値解析を実施した。

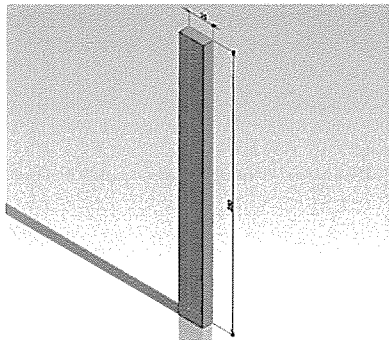


図2 固有値解析用モデル

表1 材料特性(AISI 304)

項目	値	単位
弾性係数	1.9e+011	N/m <sup>2</sup>
ポアソン比	0.29	N/A
せん断弾性係数	7.5e+010	N/m <sup>2</sup>
密度	8000	kg/m <sup>3</sup>
引張強さ	517017000	N/m <sup>2</sup>
Xの圧縮強さ		N/m <sup>2</sup>
降伏強さ	206807000	N/m <sup>2</sup>
熱膨張率	1.8e-005	/K
熱伝導率	16	W/(m・K)
比熱	500	J/(kg・K)
材料減衰比		N/A

2.3 制振材

振動抑制効果を検証するために使用する制振材として、試験片と同じ厚さ 2mm の市販のブチルゴムを用いた。本研究では、このブチルゴムを用いた制振材を、非拘束型の構造及び拘束型の構造となるように設計した。製作した制振材の断面構造を、図3に示す。図3に示したように、非拘束型は、基材+ブチルゴムで構成し、拘束型は、基材+ブチルゴム+ステンレスシート(材質 SUS430、厚さ 0.3mm)で構成した。

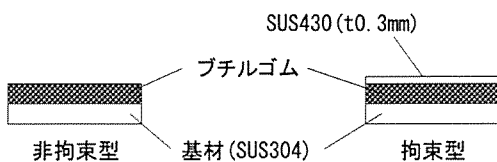


図3 使用した制振材の構造(非拘束型, 拘束型)

2.4 固有振動数及び損失係数の測定

試験片への制振材の貼付条件を、表2に示す。表2に示した種々の条件で試験片に制振材を貼り付け、各試料の固有振動数及び固有振動数における損失係数を計測した。試験状況の概略を、図4に示す。計測には、(株)スペクトリス、ブリュエル・ケア事業部製 A-D 変換器 PULSE Type3050-B-60 及び解析ソフト PULSE Labshop で構成された計測データ解析装置、同事業部製加速度センサー Type4517-002、並びに同事業部製インパクトハンマ Type8206-002 を使用した。制振材を貼り付けた試験片の上部の取付穴に糸を通し、接着剤で固定した後、吊り下げた状態で測定を行った。図1に示した箇所⑤の中央部に加速度センサーを取付け、箇所①の中央部付近をインパクトハンマで加振することによって、伝達関数を求めた。得られた伝達関数を基に、図5及び(1)式に示した半値幅法を用いて損失係数を計測した。

表2 制振材貼付条件

No.	制振材		備考
	ブチルゴム (mm, 貼付方法・場所)	ステンレスシート	
1	無	無	無
2	50	テープ・③	50(テ)
3	50	接着材・③	50(非)
4	50	接着材・③	50(拘束)
5	100	接着材・②③④	100(非)
6	100	接着材・②③④	100(拘束)
7	150	接着材・②③④	150(非)
8	150	接着材・②③④	150(拘束)

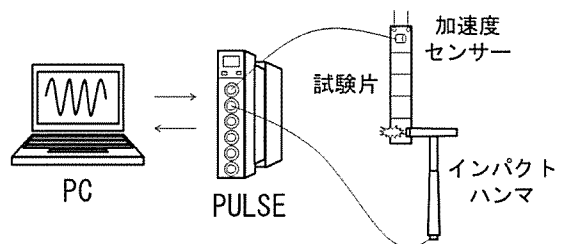
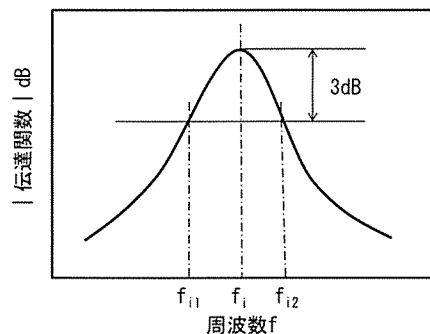


図4 試験状況の概略図



$$\eta = (f_{i2} - f_{i1}) / f_i \tag{1}$$

$\eta$ : 損失係数

図5 半値幅法による損失係数の算出

### 3. 結果及び考察

#### 3.1 固有値解析結果

試験片(材質 SUS304, 長さ 250mm、厚さ 2.0mm)の固有値解析結果を、図 6 に示す。解析の結果、1 次モード、2 次モード、3 次モード及び 4 次モードの固有振動数は、それぞれ 160Hz, 443Hz, 870Hz 及び 970Hz であることがわかった。この結果を基に、図 6 に示した 1 次 (左上図) のような形状モードで変形する振動を対象として、その振動抑制効果について検討した。

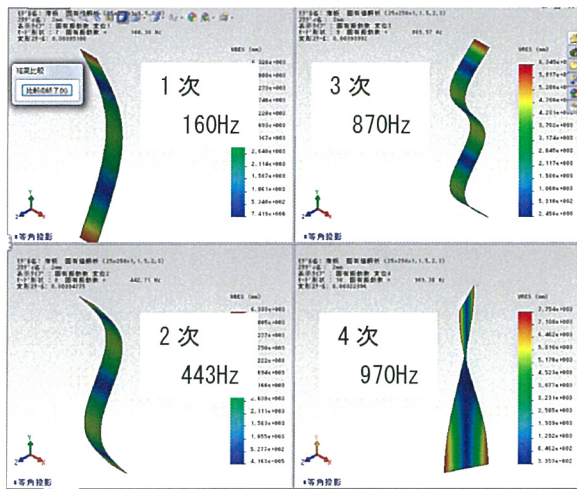


図 6 固有値解析の結果

#### 3.2 制振材貼付による固有振動数の変化

表 2 に示した制振材の貼付条件毎の固有振動数の変化を、表 3 及び図 7 に示す。図 7 からわかるように、制振材を貼り付けない場合の固有振動数は 157Hz となっており、固有値解析の結果とほとんど同じ値となっており、実験方法の妥当性を検証することができた。ブチルゴムを貼り付けた非拘束型の制振材では、制振材を貼り付けない場合よりも固有振動数の値は小さくなっている。これは、(2)式に示した関係式から、ブチルゴムの貼り付けによって質量が増加したためであると考えられる。

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (2)$$

$f_n$  : 固有振動数,  $m$  : 質量,  $k$  : 剛性

一方、ステンレスシートで拘束した拘束型の制振材の場合、貼付長さ 50mm の試料に対する固有振動数が、制振材を貼り付けない場合と比べて小さくなっている。これは、拘束型であっても、1 次モードの変形の腹が試験片の中央付近において大きくなり、大きくひずむ箇所を覆うことなく剛性が向上せず、質量増加の寄与が剛性を上回ったためであると考えられる。貼付長さを 100mm もしくは 150mm

まで長くすることによって、大きくひずむ箇所を覆うことができる。その結果として、剛性の向上の寄与が質量増加よりも大きくなり、固有振動数が大きくなっているものと考えられる。

表 3 固有振動数の計測結果

20°C No.	制振材		備考	固有振動数 (Hz)	
	ブチルゴム (mm、接着方法)	ステンレスシート			
1	無	無	無	157	
2	50	テープ・③	無	50 (予)	152
3	50	接着材・③	無	50 (非)	153
4	50	接着材・③	有	50 (拘束)	153
5	100	接着材・②③④	無	100 (非)	152
6	100	接着材・②③④	有	100 (拘束)	166
7	150	接着材・②③④	無	150 (非)	152
8	150	接着材・②③④	有	150 (拘束)	189

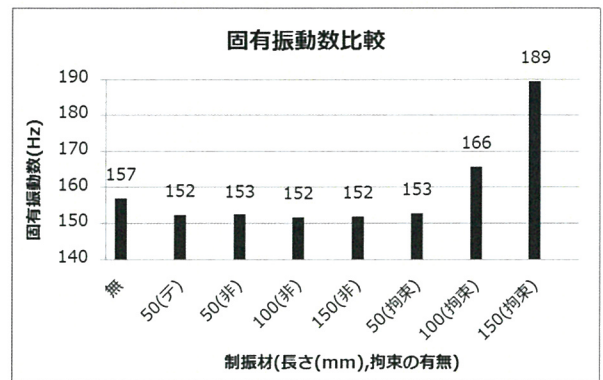


図 7 制振材の有無による固有振動数比較(温度 20°C)

#### 3.3 制振材貼り付けによる損失係数の変化

表 2 に示した制振材の貼付条件毎の損失係数の変化を、表 4, 図 8 及び図 9 に示す。図 8 からわかるように、ブチルゴムのみを貼り付けた非拘束型制振材の場合、貼付面積を大きくしてもほとんど損失係数は変化していない。一方、図 9 からわかるように、貼付長さを 50mm とした拘束型の制振材の損失係数は、非拘束型として作製したすべての制振材の損失係数に対し約 5 倍以上の値にまで増大している。また、拘束型とした制振材では、貼付長さの増大にともない損失係数も増大するという相関性があることがわかる。

損失係数の値が最大値を示した、長さ 150mm の制振材を貼り付けた最も減衰効果を有する拘束型の制振材を用いて、試験環境温度の変化が固有振動数及び損失係数に与える影響について検討した。その結果を、図 10 及び図 11 に示す。図 10 からわかるように、試験環境温度が上昇するとともに損失係数の値は小さくなり、振動減衰効果が減少している。一方、図 11 からわかるように、損失係数の値と同様に、試験環境温度が上昇するとともに固有振動数の値も減少している。固有振動数の変化は、拘束型の制振材を構成しているブチルゴムとステンレスシートとの間の接着による伸びの抑制(ずれ)が制振材として機能していることを示している。試験環境温度が 10~40°C の範囲で変化

しても、ステンレスシートの剛性はほとんど変化しないため、試験環境温度の上昇にともなうブチルゴムの材料特性の変化が、拘束型の制振材の固有振動数及び損失係数に大きな影響を及ぼしているものと考えられる。

表 4 損失係数の計測結果

No.	制振材		備考	損失係数 (%)
	ブチルゴム (mm, 接着方法)	ステンレスシート		
1	無	無	無	0.0475
2	50 テープ・③	無	50(テ)	0.0690
3	50 接着材・③	無	50(非)	0.0605
4	50 接着材・③	有	50(拘束)	0.5335
5	100 接着材・②③④	無	100(非)	0.0945
6	100 接着材・②③④	有	100(拘束)	2.6390
7	150 接着材・②③④	無	150(非)	0.0865
8	150 接着材・②③④	有	150(拘束)	4.9215

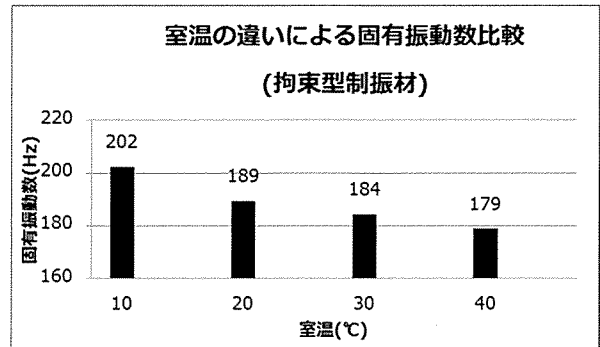


図 11 試験環境温度の違いによる固有振動数の変化

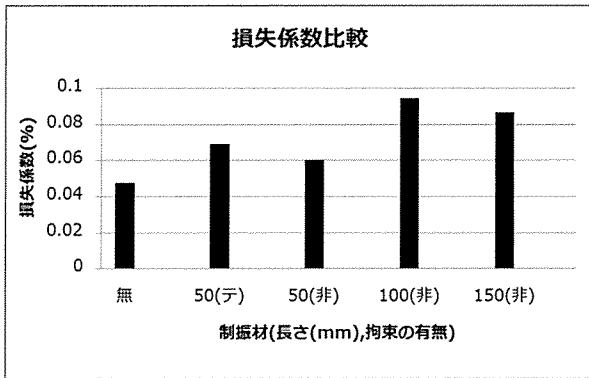


図 8 制振材の有無による損失係数の変化(温度 20°C)

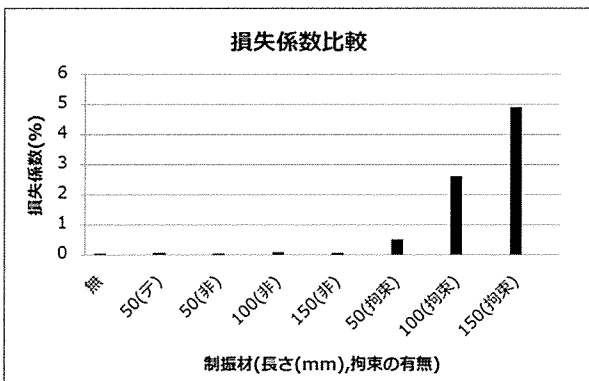


図 9 制振材の種類による損失係数の変化(温度 20°C)

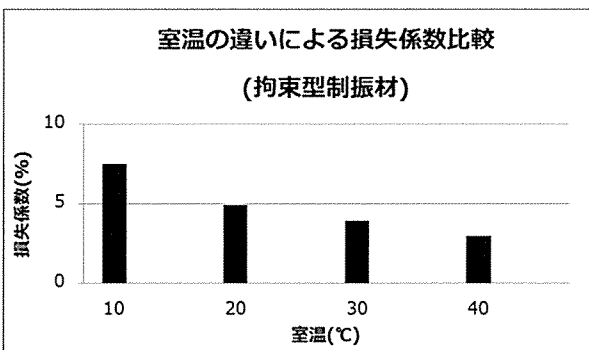


図 10 試験環境温度の違いによる損失係数の変化

4. 結言

振動抑制効果を期待して実用化されている制振材の効果について検証するため、制振材の貼付条件や使用環境の温度が制振材の固有振動数及び損失係数に与える影響について検討した。その主な結果は、次のとおりである。

- (1) 有限要素法を用いて固有値解析を行った結果、試験片の1次の固有振動数は、160Hzであった。
- (2) 各試験片の固有振動数を実測した結果、制振材を貼り付けない試験片の固有振動数は157Hzであり、固有値解析の結果と非常に良い一致を示した。
- (3) 非拘束型の試験片の場合、固有振動数は152Hz付近であったが、拘束型の試験片における貼付長さ100mm及び150mmの試験片の場合、固有振動数はそれぞれ166Hz及び189Hzと、制振材を貼り付けない試験片の固有振動数よりも大きな値を示した。
- (4) 貼付長さを50mmとした拘束型の制振材の損失係数は、非拘束型として作製したすべての制振材の損失係数に対し約5倍以上の値に増大した。拘束型とした制振材では、貼付長さの増大にともない損失係数も増大した。
- (5) 損失係数の値が最大値を示した貼付長さ150mmの拘束型の制振材における固有振動数及び損失係数は、試験環境温度の上昇にともないいずれも小さくなる傾向を示した。

本研究で使用した計測データ解析装置は、公益財団法人 JKA 「機械工業振興補助事業」により導入、設置した装置である。



参考文献

- 1) JIS G 0602-1993 制振鋼板の振動減衰特性試験方法
- 2) 末松, 金光, 近藤, 機械振動学, (2000), pp.81-83