

拘束型制振処理の損失係数に及ぼす拘束板の分割の影響について

遠藤 紘・佐々木 崇*

Influence of Dividing at a Constrained Layer for Loss Factor On a Damping Structure of Constrained Type

Hiroshi ENDO and Takashi SASAKI*

(2001年11月30日受理)

In this paper, the constrained type of damping treatment which has three layered beam from thick steel layer, visco-elastic material layer and thin steel constrained layer were studied. The damping properties of complete three layered beam has higher loss factor, but its are affected by many conditions such as thickness of each layers and its properties.

So, the influence of dividing at a constrained layer were experimentally tested that its effect were clarified. These results give a guide for best suitability for loss factor by the dividing method to constrained layer.

1. 緒 言

機械や構造物の振動や騒音を低減することは、産業用機械、鉄道車両、自動車、電気機器など多くの産業分野で重要な課題となっている。機械・構造物の振動や騒音を低減する技術として種々の方法が開発されているが、機械の重量の増加や機械本来の機能や性能を損ねることなくそれを可能にする技術は未だ解決すべき多くの問題がある。一方、鉄鋼材料は強度・剛性が高く、溶接などの接合性がよいため多くの機械構造部材に用いられてきた。このような機械構造物に対して重量の増加などを抑えて、振動や騒音を低減する方法として機械構造部材自身に制振性能を付与する技術が有効であると考えられる。

そこで本研究では、機械・構造物の振動を制御するために、厚板や形鋼などの機械構造部材に粘弾性材料を介して拘束板を貼り付けた拘束タイプの制振処理技術¹⁾について研究した。薄鋼板などパネル部材については制振鋼板として粘弾性材料をコア材とする三層積層鋼板が高い制振性能を有することはよく知られている。しかし、三層積層鋼板の損失係数は、温度・周波数などに依存する粘弾性材料の特性、厚さなど三層積層鋼板の構成条件、さらに振動モードのような与えられる振動条件など多くの条件因子

によって変化すると考えられている。厚板や形鋼などの機械構造部材に薄鋼板主体の制振鋼板と同様の高い制振性能を付与させるためには、材料条件や構造条件などの面で最適条件を見出さなければならない。さらに、機械構造部材に粘弾性材料を介して拘束板を貼り付け三層積層化する場合、構造部材の強度を保持したままその上に粘弾性材料と拘束板を貼り付けねばならない。この場合、構造上の種々の問題から構造部材全面に1枚の拘束板を貼り付けるのは困難な場合が多い。そこで拘束板を分割して、できるだけ広い面積にわたって三層積層化を行う必要が生ずる。本研究では損失係数に及ぼす拘束板の分割の影響について、周波数依存性・モード依存性・温度依存性などを実験的に調べ、機械構造部材に粘弾性材料と拘束板を貼り付ける場合の最適条件を明らかにすることを目的として行った。

2. 実験方法

2.1 試験片について

本実験に用いた試験片は、厚さ3 mmと6 mm、長さ400 mmのはり状の鋼板を基板とし、中間層には常温近傍で制振性能が高いブチルゴム系粘弾性材料(RT)を、そして厚さ0.4 mmと0.8 mmの薄鋼板を拘束板とし三層積層鋼板とした。これら2種類の基板と拘束板を組合せ、4種類の三層積層鋼板を基

* 秋田高専専攻科学生

拘束型制振処理の損失係数に及ぼす拘束板の分割の影響について

本的試験片とした。さらに本研究の目的である拘束板の分割の影響を明らかにするために、それぞれの拘束板を1(分割なし)、2, 4, 8等分に分割した。これらの試験片の代表例を Fig. 1 に示す。(a)は通常の三層積層鋼板を示しており、(b)には分割の例として1/4分割にしたものを示してある。4種類の基本的試験片について拘束板を分割しないもの(以下1枚板とする)、1/2分割、1/4分割、1/8分割したものの計16種類の試験片で測定を行った。

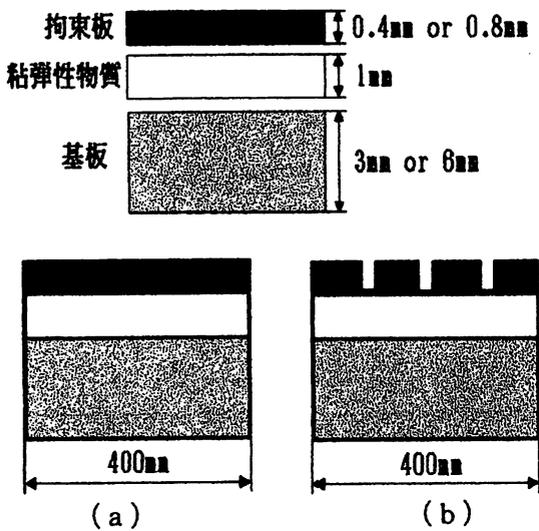


Fig. 1 サンプルの構造

表1 試験片の仕様

・基板—厚鋼板	
材質：SS400	幅：30 mm
長さ：400 mm	直径：3 mm or 6 mm
・コア材—粘弾性材料	
材質：プチルゴム系粘弾性物質	厚さ：1 mm
・拘束板—薄鋼板	
材質：SC (冷延鋼板)	幅：30 mm
厚さ：0.4 mm or 0.8 mm	

2.2 測定方法

実験方法としては、はりの振動実験の際、従来の研究により最も正確に伝達関数が得られると考えられている両端自由とし、はり状試験片を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機で加振する中央支持—中央加振法を用いた。この場合中央加振法のため、反対称モードは出現せず、対称モードのみが励起されているため伝達関数のピークは奇数モードのみとなるが、本研究においては、周波数の低い順に1

次モード・2次モード・3次モード・4次モードとした。Fig. 2 に本研究における中央加振、両端自由はりの振動モードを示す。さらに温度特性を得るために試験片を恒温層内に配置し、温度を変化させて測定を行った。

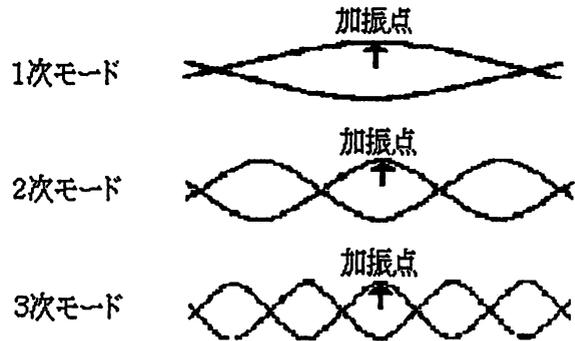


Fig. 2 中央加振・両端自由はりの振動モード

3. 実験結果

3.1 拘束板を分割しない場合の温度依存性

基本的実験として拘束板を分割しない場合について、基板および拘束板の板厚構成を変え、損失係数の温度依存性を測定した結果について示す。Fig. 3・4に1枚板(拘束板の分割なし)における温度と損失係数の関係をそれぞれ1次・2次モードについて示す。これらの図から明らかなように、3—0.8(基板3mm, 拘束板0.8mm)の組合せの損失係数が最も高く、次いで3—0.4, 3—0.8, 6—0.4の順になっている。この結果は拘束板と基板との板厚比が小さいほど制振性能が高くなるという従来の研究結果とも合致する。

しかし、板厚比が同じ2つの板(6—0.8と3—0.4)では損失係数がほぼ同じになると予想されたが、基板と拘束板との板厚の差が小さい3—0.4の組合せの方が損失係数は大きい。これは同一モードでも周波数が異なっているからではないかと推測される。損失係数のピーク温度は板厚構成にかかわらずほぼ一定であるが、モード依存性については板厚によって損失係数が異なっている。さらにこの傾向は3次・4次モードでも確認された。

3.2 拘束板の分割による温度依存性への影響

本節では拘束板を1, 1/2, 1/4, 1/8分割した試験片について、損失係数の温度依存性を比較検討

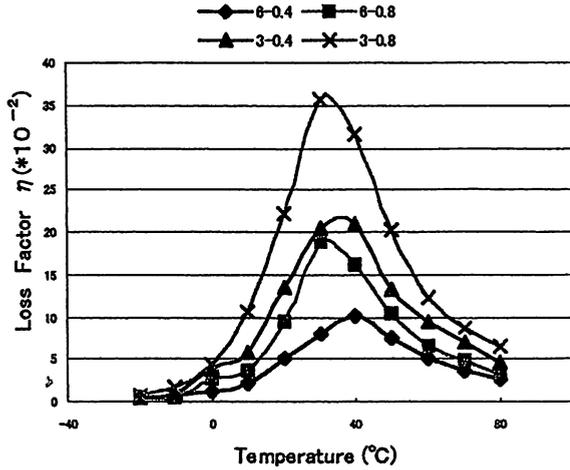


Fig. 3 損失係数と温度の関係（1次モード）

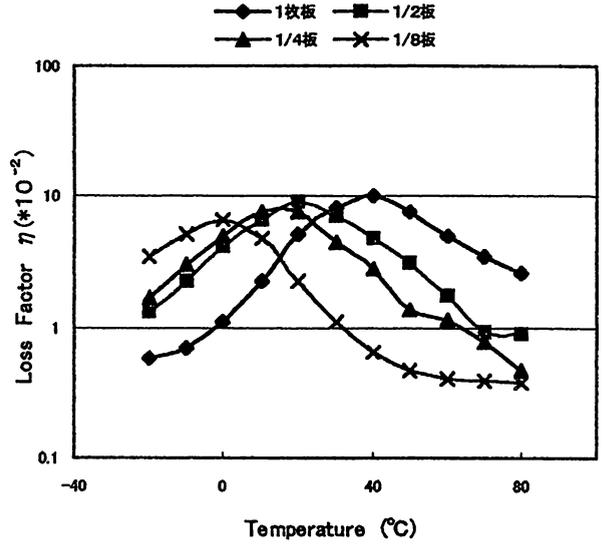


Fig. 5 損失係数と温度の関係（1次モード）

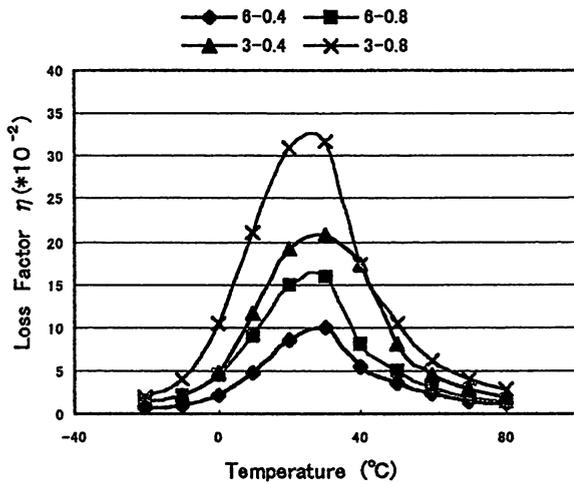


Fig. 4 損失係数と温度の関係（2次モード）

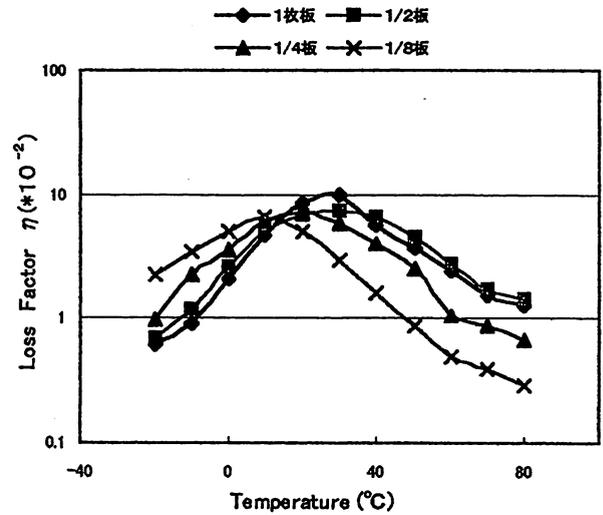


Fig. 6 損失係数と温度の関係（2次モード）

する。Fig. 5～8に6-0.4の分割した場合における温度と損失係数の関係を1次モードから4次モードまでモード別に示す。Fig. 5から1次モードにおいては分割数を増やすことによって損失係数が低下し、それに伴いピーク温度が下がることが明らかとなった。Fig. 6の2次モードについては、1/4板と1/8板ではピーク温度が下がっているものの、1次モードほどその変化は顕著ではなく、かつ分割による効果が薄れているのが確認できる。さらに3次モードではその傾向が強まり、1/8分割を除いては拘束板の分割の効果はほとんど認められなくなる。4次モードにおいては損失係数の温度依存性には分割の影響はないに等しい。つまりモード次数の増加とともに拘束板の分割による影響は少なくなることが確認された。

Fig. 9・10は板厚を変えた3-0.8の分割した場合における温度と損失係数の関係を1次モード

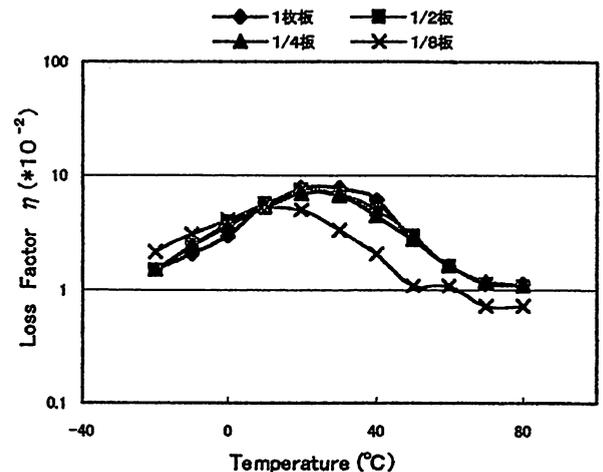


Fig. 7 損失係数と温度の関係（3次モード）

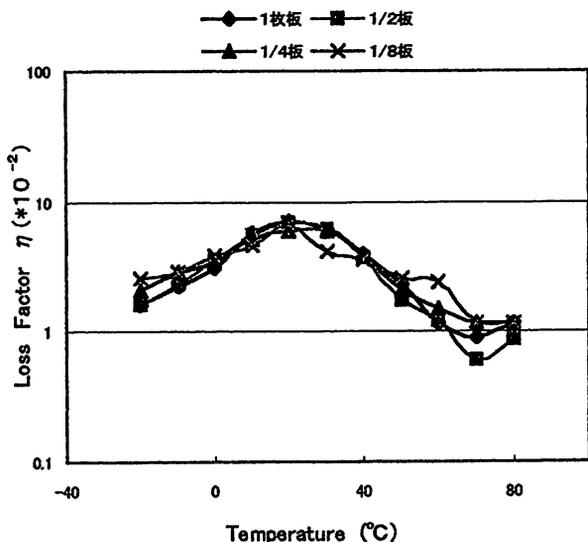


Fig. 8 損失係数と温度の関係 (4次モード)

と4次モードについてのみ示したものである。6-0.4と同じように1次モードにおいては拘束板の分割の影響は顕著に現れているが、4次モードにおいてはその影響はほとんど認められなくなる。他の板の組合せ(6-0.8・3-0.4)においても2次モード・3次モードではその変化に若干のずれはあるものの、これと同様な傾向を確認することができた。

これらのことから1次モードにおいては、拘束板の分割の影響が顕著に現れ、ピーク温度即ち損失係数の高い温度域が下がるのに対し、他の高次モード—特に4次モードにおいて—その影響は無くなると見ることができる。さらに1次モードではピーク温度が下がるという事実から、有効な温度範囲が分割によって変化すると考えられる。

3.3 拘束板の分割による周波数への影響

粘弾性材料を用いた三層積層鋼板は、一般に温度・周波数・振動モード、その他構成条件など様々な影響を受けるとされているが、田口³⁾の研究によると温度依存性に比べ周波数依存性は低いとされている。しかし、拘束板を分割した場合には周波数に対する影響はどのようになるかということの本節では検討する。

Fig.11~14は3-0.4の温度を変えた場合について周波数と損失係数の関係を1枚板から1/8分割まで示したものである。Fig.11は1枚板の図である。低温では周波数の増加に伴い損失係数が増加しているが、温度が上昇するにしたがって損失係数が周波数の増加とともに減少する傾向を示し

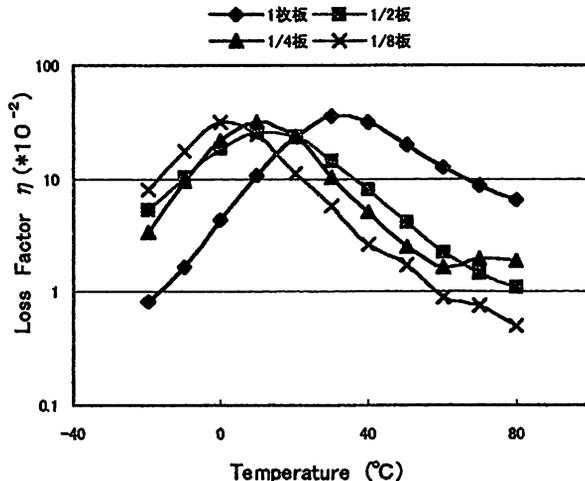


Fig. 9 損失係数と温度の関係 (1次モード)

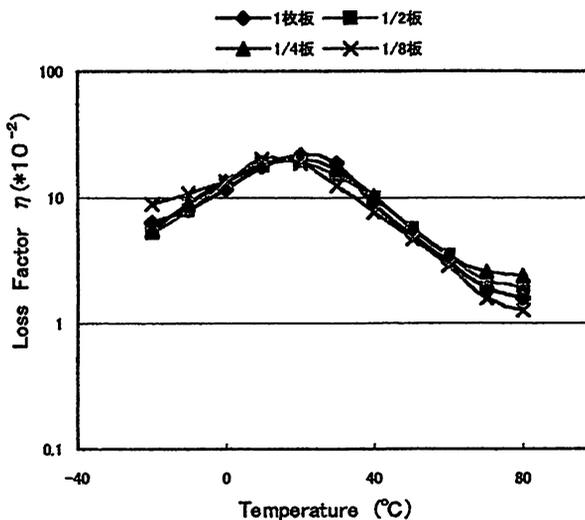


Fig. 10 損失係数と温度の関係 (4次モード)

ている。しかし周波数による影響は温度依存性ほど顕著ではないと見られる。それに対し Fig.12は1/8分割にした図である。低周波数でのみ損失係数は下がっているが周波数が増加してもその後変化は認められない。このことも他の厚さの板について同様の結果を得ることができた。1/2, 1/4分割の板については、40°C以上の高温かつ低周波域で若干の損失係数の変化が見られたが、高周波域においては周波数の影響が無くなっていくのが読み取れる。

Fig.15・16は同じ3-0.4の分割した場合における温度と周波数の関係を40°Cと0°Cについて示したものであるが、先ほど述べたことがこの2つの図からも読み取ることができる。さらに3.2節でも触れたように、分割によって1次モードのピーク温度が下がるため、分割した場合低温では

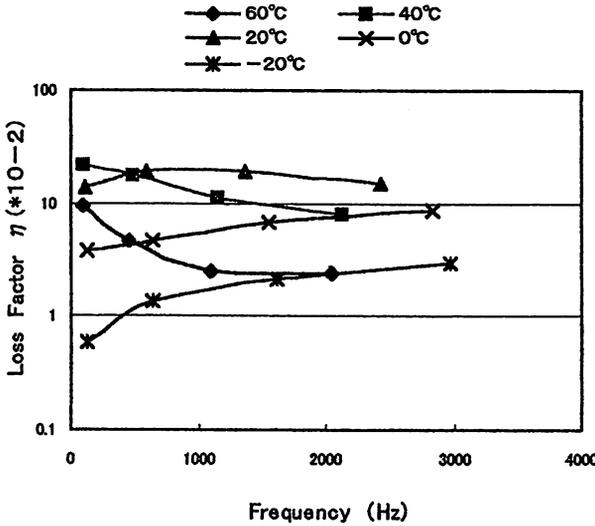


Fig. 11 損失係数と周波数の関係 (1枚板)

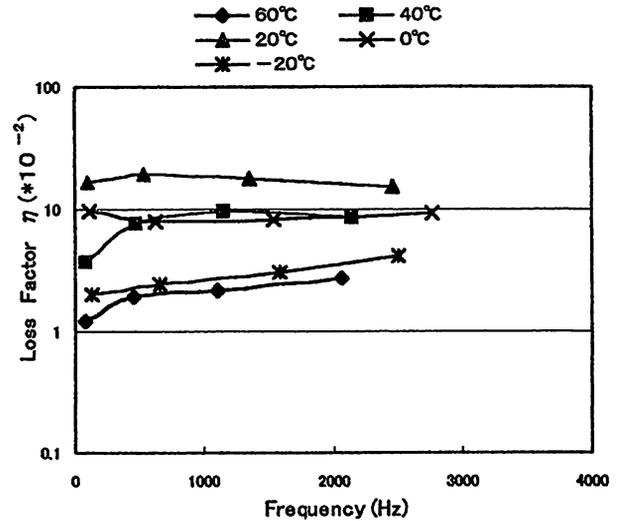


Fig. 13 損失係数と周波数の関係 (1/4板)

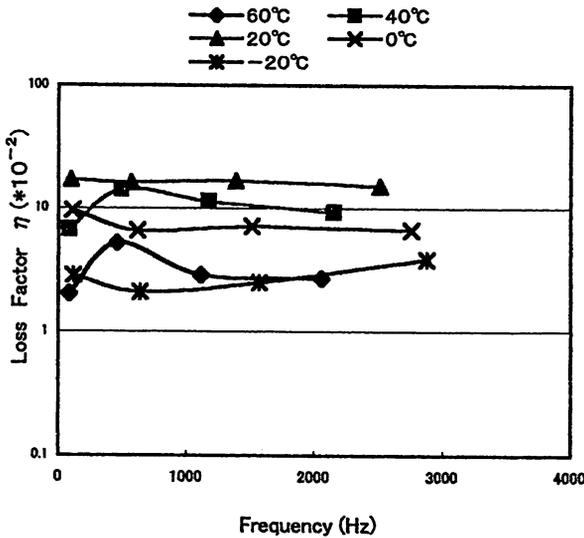


Fig. 12 損失係数と周波数の関係 (1/2板)

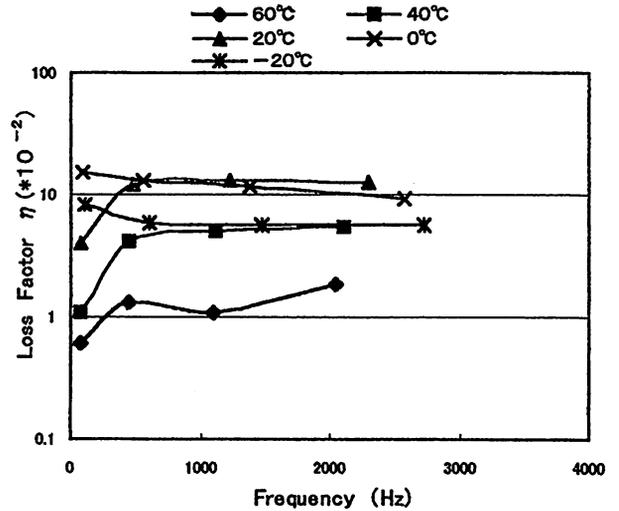


Fig. 14 損失係数と周波数の関係 (1/8板)

損失係数が高くなっているのが確認できる。それと同時に、1次モードつまり低周波域においては分割の影響が確認できるが、周波数の増加に伴い、損失係数が一定の値に収束していくことがわかる。これはつまり非常に高周波域—4次モードに達するころには分割の影響は無いに等しくなるということがこれらの図からも説明できる。このことは他の試験片でも認められた。

4. 考 察

以上の実験結果から、機械構造物に粘弾性材料と拘束板を分割したものを貼り付けて制振性能を付与させることが可能であることが明らかとなっ

た。まず、拘束板を分割しない場合については、Fig. 3・4に示すように基板と拘束板との板厚比が小さいほど制振性能が高くなるという従来の研究結果と同様の結果が得られ、さらに1次モードから4次モード全てにおいて共通であり、板厚による損失係数のモード次数の影響は小さいということ明らかになった。

次に拘束板を分割したときの影響についてであるが、Fig. 5以降の図に示すようにモード次数が低い場合、分割数を多くするほど低温側に移行することが明らかとなった。特に1次モードについてはこの現象が顕著に見られ、損失係数のピーク値自身も若干低下する。一方4次モードのような高次モードでは拘束板の分割による損失係数の変化は全く認められなくなる。このような現象は拘

拘束型制振処理の損失係数に及ぼす拘束板の分割の影響について

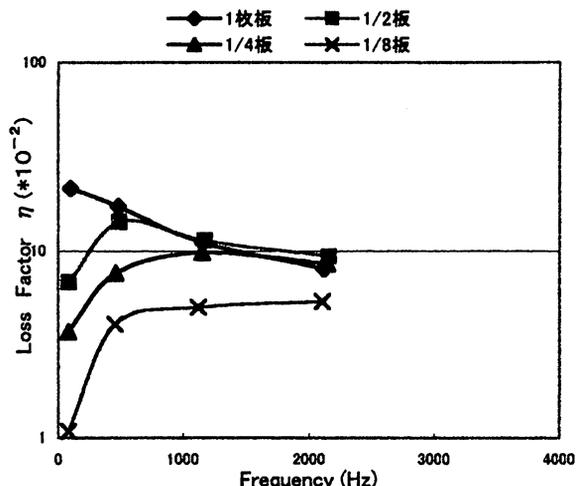


Fig. 15 損失係数と周波数の関係 (40°C)

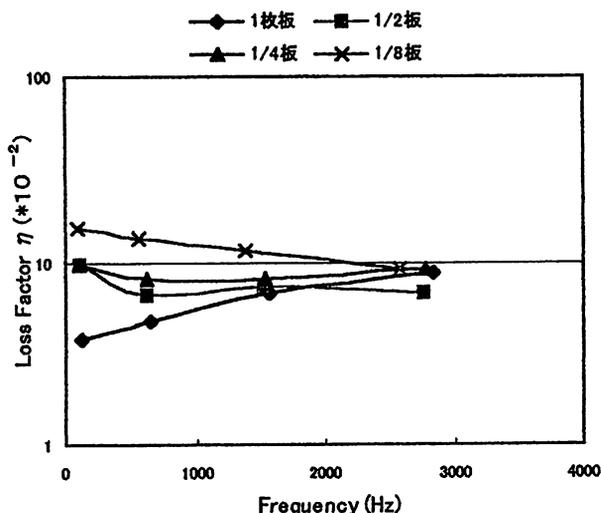


Fig. 16 損失係数と周波数の関係 (0°C)

束板を分割したために、三層積層板の動的曲げ剛性も変化し、本来上下の板に拘束されている場合と比較すると粘弾性材料のせん断変形量が変化し、その結果粘弾性領域も変化しピーク温度が下がったと考えられる。一方4次モードにおいては、多少の拘束板の分割では波長や周波数との関係からその影響をほとんど受けないうために動的曲げ剛性も分割によって大きく変化せず、ピーク温度にも影響を及ぼさなかつたと推測される。

一般的に板の動的曲げ剛性は共振周波数の2乗に比例すると考えられる。そこで、6—0.4の1次モードと4次モードについて損失係数と動的曲げ剛性（共振周波数の2乗）の関係を Fig.17・18に示した。

それぞれ1枚板と1/8板について比較し、横軸には温度を、縦軸には損失係数及び周波数の2乗を

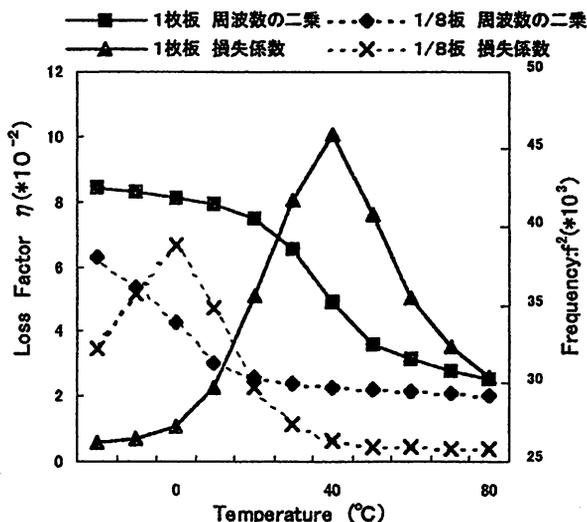


Fig. 17 粘弾性特性の図 (1次モード)

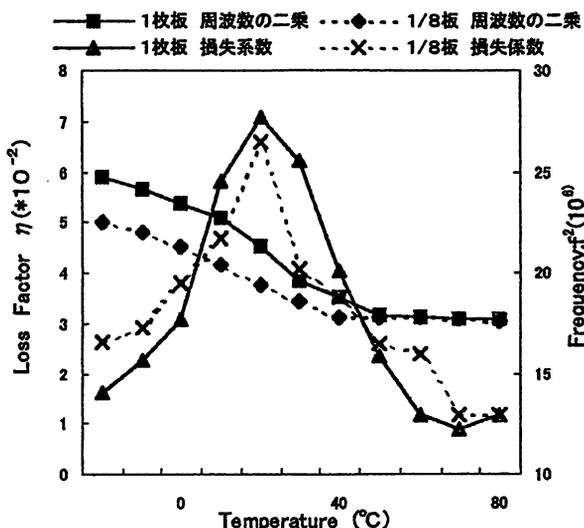


Fig. 18 粘弾性特性の図 (4次モード)

示した。これらの図から明らかなように1次モードでは分割により曲げ剛性ととも損失係数のピーク温度も移動しているが4次モードにおいては両者の変化はごくわずかなものとなっている。

以上の結果から拘束板を分割することにより低次モードの損失係数の温度領域を変えることが可能であることが明らかとなった。通常、三層積層鋼板ではより低温で制振性能を付与させる場合、粘弾性材料をより柔らかいものにしなければならない。しかしこの場合、基板と拘束板の接合強度が下がり、その機械構造物の剛性が低下してしまうという危険性があるが、本実験のように拘束板を分割することでピーク温度を下げるにより通常の1枚の拘束板で使用する粘弾性材料より高温側

に粘弾性域があるものを使用することが可能となり、より強固な三層積層鋼板を製作することができるとも明らかになった。なお、4次モードのような高次モードの制振処理を問題にすることはむしろ稀であり、1～2次モードに影響を及ぼす本実験の結果は実用的に考慮すべき重要な事項であると考えられる。

5. 結 言

拘束型制振処理材の拘束板を分割した場合における損失係数に与える種々の影響について検討した結果、次のようなことが明らかとなった。

1. 粘弾性材料を介した三層積層鋼板では基板と拘束板の板厚比が小さいほど損失係数は高いが、同一モードにおける損失係数のピーク温度は板厚の変化には影響されない。
2. 拘束板を分割することにより、1次モードでは分割数に対応してピーク温度が大きく下がるが、2～3次モードではその影響は徐々に減少し、4次モード以降においてはその影響は認められない。
3. 拘束板を分割しない通常の三層積層鋼板では低温では周波数の増加に伴い損失係数が増加するが、高温においては周波数の増加に伴い損失係数が減少する傾向にある。
4. 拘束板を分割することにより、周波数依存性は低周波域ではその影響が見られるものの、高周波域ではその影響は見られなくなる。
5. 拘束板を分割して低次モードで制振効果を発揮させるには、粘弾性材料の選定に考慮が必要である。

参考文献

- 1) 田中良平編集：制振材料—その機能と応用—；日本規格協会(1992)
- 2) 森沢正旭：入門機械振動工学(1998)
- 3) 田口隆士：日本機械学会東北支部 米沢地方講演会講演論文集(1999.-9-29)