

熱硬化性樹脂拘束層タイプ制振材の開発

Development of Damping Material with Thermosetting
Resin Constrained Layer

芳 賀 齊 * 中 村 光 勇 *
Hitoshi Haga Mitsuo Nakamura

要 旨

自動車の車室内騒音は、商品性を左右する重要な要素の一つである。近年特に、静粛性が改善されるにつれて、路面により励起される、いわゆるロードノイズの低減が課題となっている。その対策手法として、パネル面に対する制振技術の研究開発及び実用化が報告されている。

今回この制振技術の一つである拘束層付制振構造に着目し、その拘束層として従来の鋼板に代わる熱硬化性樹脂を開発した。この熱硬化性樹脂拘束層は、鋼板製拘束層の欠点である、製造ラインに於ける取付性及び融着性・密着性等の問題を解決するとともに、かつ鋼板製拘束層と同等の制振性能を得る事ができた。

ABSTRACT

Automobile cabin noise is one of the most important factors influencing product grade. As overall noise level has been improved recently, reducing the noise conducted from the road surface has become the target of investigation.

Damping the panel is a viable solution. Our approach is to use a constrained layer in the damping structure and replace the conventional steel plate with thermosetting resin for the layer material. This gives an advantage of eliminating assembly problems with steel-plate constrained layers, such as fitting difficulty, low fusing weldability and adhesiveness, while achieving the damping performance equal to steel-plate constrained layers.

1. はじめに

近年、自動車の車室内騒音の低減は、乗員の快適性向上のため、ますます重要となってきた。この車室内騒音を構成する一要素として、フロアパネルからの音響放射が挙げられる。フロアパネルは、その面積の大きさ、及び車室を構成しているレイアウト上の点から、特にロードノイズ低減に関する主要な対象部位のひとつである。

フロアパネルからの音響放射低減手法としては、パネルそれ自体の音響放射量を低減させる手法と、放射された音を吸音・遮音する方法の二種がある。今回はパネル自体からの放射音低減を目的として、特に拘束型制振構造に着眼し、拘束層

としては従来の鋼板にかわって、熱硬化性樹脂拘束層を開発し実車に適用した。この熱硬化性樹脂拘束層は、従来の鋼板性拘束層の欠点である製造ラインにおける、取付け性を含めた製造上の問題点を解決したものである。本稿では従来の非拘束型制振材と鋼板を使用した拘束型制振材との比較を行ない、諸特性を明らかにしたい。

2. 制振材の位置づけ

車室内騒音はダッシュボードパネル、ドアシール等を音響的に透過してくるものと、エンジン、サスペンション等の振動がボディに伝達し、パネル面を振動させる事により音として放射されるも

* 栃木研究所

の二種に大別される。後者を一般的に固体伝播音と称しているが、この中でも特に路面の細かな凹凸がタイヤ、サスペンション系を介してボディに伝達され、放射される音は、固体伝播音の代表的な例であり、一般的にロードノイズと称されている。このロードノイズは以下の如き過程を経て、最終的に音響放射される。

- 1) 路面振動入力を受けるタイヤ。
- 2) 振動伝達経路としてのサスペンションアーム類、ラバースッシュ等。
- 3) サスペンション系取付部よりボディ各部に振動拡散しパネル面より音響放射。

この伝達過程の中で、制振材は最終過程である3)のボディ系の対策のひとつとして効果的である。特に伝達された振動が拡散し、パネルの固有振動数で大きな振幅を発生する場合には、その振動エネルギーを熱に変換し、その結果として音響放射を低減させる役割を果たす。

3. 制振材の概要

3.1. 制振材の種類

制振材の構造は大別して、図1に示す様に、非拘束型と拘束型の二種類に分けられる。

非拘束型は、対象となるボディパネルの上に、制振材を単独で貼り付ける。このタイプは、パネルに発生した曲げ振動により制振材に伸縮変形が生じ、その結果、振動エネルギーが制振材内部で熱エネルギーに変換され、振幅を低減する。

一方拘束型は、パネル面上の制振材層(粘弾性層)の上に更に拘束層として、金属板や弾性率が粘弾性層よりはるかに大きい樹脂板等を載置したものである。このタイプでは、パネルの曲げ変形で生じる伸縮をその反対側で拘束するため、粘弾性層にせん断変形が生じ、このせん断変形が熱エネルギーに変換され、振動を低減する。

3.2. 制振メカニズム

次に、今回採用した拘束型制振構造の制振メカニズムについて述べたい。

制振材の特性は一般的に損失係数で表現する事

が多いが、拘束型制振構造の場合次のパラメーターによって定義される。

- a) 剛性パラメーター
- b) 複素せん断パラメーター
- c) 複素曲げ剛性パラメーター
- d) 制振材料パラメーター

一般にこれらのパラメーターは複素数で表現され、かつ周波数の関数にもなっているため、制振されるパネル面を含めた複合体としての損失係数を厳密に定義する事は困難である。しかし、 $\eta_2 < 4$ などの仮定条件のもとで損失係数が最大となる場合については、複合体の損失係数は次式で近似される。

$$\eta_{\max} = 3 \cdot \frac{E_3 h_3}{E_1 h_1} \cdot \eta_2 \quad \text{--- ①}$$

$\eta_{\max}$: 複合体の損失係数の最大値

η_2 : 粘弾性層の損失係数

E_1 : 基板(パネル)のヤング率 (N/m²)

E_3 : 拘束層のヤング率 (N/m²)

h_1 : 基板(パネル)の厚み (m)

h_3 : 拘束層の厚み (m)

この式からわかる様に、複合体の損失係数向上のためには、拘束層の剛性パラメーターである Eh_3 および粘弾性層自身の損失係数 η_2 を上げれば良い事がわかる。拘束層の E_3 、 h_3 を上げると、言うまでもなく拘束層の剛性が向上し、これ

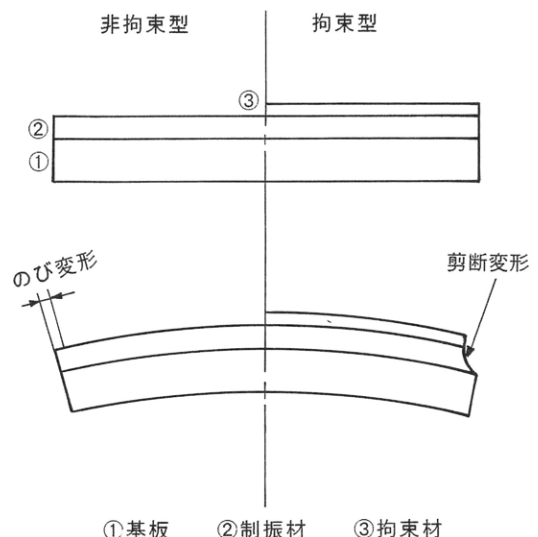


図1 制振材の種類

により粘弾性層のせん断変形が相対的に大きくなり、効果的にエネルギー変換を行なう事ができる。

また、非拘束層型制振材との最大の違いは、中間層である粘弾性層の厚みが余りこの系の損失係数に影響を持たないという事である。したがって、拘束層が追加されて重量が増加しても粘弾性層の厚みを小さくする事ができ、設計次第では総重量を非拘束型のそれよりも下げる事が可能である。逆に同重量であれば、より優れた制振性能を得る事も可能である。その一例として、同重量の非拘束型制振材と鋼板製拘束層型制振材の損失係数を図2に示す。全般的に拘束型制振材の方が、非拘束型よりも損失係数が良い傾向にある。

ただし、拘束型制振材の場合注意すべき事は、粘弾性層の周波数特性が平坦であっても、前述のせん断パラメーターの影響で、複合体の損失係数は比較的顕著なピークを持つ周波数特性を示す。これは同時に温度特性においても同様な特性を持つ事にもなる。このため、粘弾性層の選定に当たっては、環境温度や目的周波数を考えた十分な設計検討が必要である。

4. 樹脂拘束層型制振材の開発

4.1. 鋼板製拘束層の問題点

前章で述べたように、拘束型制振材は重量に比べ、損失係数を比較的大きく設計できるため、自動車においても適用範囲が広がっている。図3は、その代表的な適用例を示してある。これは、塗装ライン工程内で、フロアパネル上に粘弾性層として、アスファルトシートを載せ、その上に拘束層として鋼板をタッピングスクリューで固定した

ものである。また他の例としては、フロアパネル側からスタッドを室内側へ出し、それに鋼板をクリップで固定しているもの等がある。

これらの方法は、粘弾性層をフロアパネルと拘束層の鋼板に、完全に追従、密着させるという点において非常に難しい。

図4に示すように、加熱前の粘弾性層は、フロアパネルの全体的な形状にゆるやかに追従するだけで、ビード形状等の複雑な形状に追従する事は不可能である。拘束層の鋼板は、粘弾性層の板

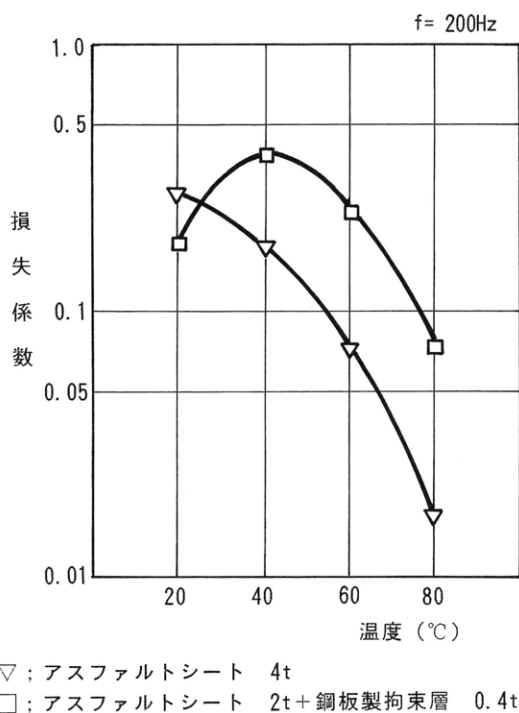


図2 制振材の損失係数

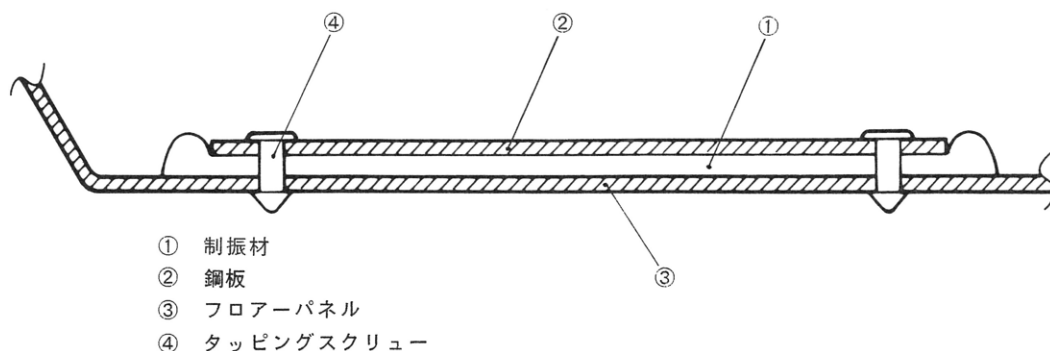


図3 鋼板拘束層取付方法

厚分を考慮した形状になってはいるが、図4の様に、粘弾性層とフロアパネルとの間に、隙間や浮きがある状態で、正しく鋼板を装着するのは非常に難しい作業となっている。その結果、粘弾性層とフロアパネルもしくは拘束層の鋼板との間に密着不良を生じやすく、制振機能を十分に発揮できない事にもなる。

さらに、フロアパネル廻りに適用する拘束層の鋼板は耐食性が要求されるため、前もって塗装処理を行なっておく必要がある。

このように塗装ラインの製造工程における、作業工数増と、拘束層である鋼板を正しく装着する事の困難性、及びそれからくる品質維持の難しさ等、大きな問題となっていた。

4.2. 熱硬化性樹脂拘束層

今報告の熱硬化性樹脂拘束層型制振材は、鋼板を拘束層として使用していた従来品の製造上の問題点を解決し、かつ制振性能において、鋼板製拘束層型と同等である事を目標として開発された。

1) 実車装着方法

この熱硬化性樹脂拘束層型制振材の構成は、粘弾性層としてアスファルト系シート、拘束層としては表1に示すブタジエン系樹脂を主成分とした熱硬化性樹脂とから成る。この開発品の特徴である熱硬化性について、塗装ラインの製造工程に沿って説明する。

まず、従来の非拘束型制振材とまったく同様に、アスファルト系シートと熱硬化性樹脂シートは、2枚重ね合わせて、フロアパネル上に設置され

表1 樹脂拘束層組成表

1-2	ポリブタジエン	25
	加硫剤	5
	加硫促進剤	2
	可塑材	3
	その他	10
	充てん剤	55
合 計		100

る。この設置直後(加熱前)の状態は、図5に示すようにアスファルト系シートも樹脂シートも常温状態で十分な可撓性を持っているため、フロアパネルの全体的な形状にゆるやかに追従する。次の工程である乾燥炉において加熱されると、アスファルト系シートが軟化し、それとほぼ同時に樹脂シートも軟化する事により、フロアパネルのビード等の複雑な形状に、二枚とも完全に追従、密着する。この間に拘束層は架橋剤の働きで加硫が進行し、最終的に乾燥炉から出て温度が低下すると、樹脂シートは完全に硬化して拘束層型制振材が完成する。

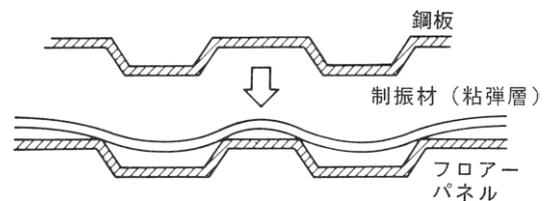


図4 アスファルト系シートの設置状態

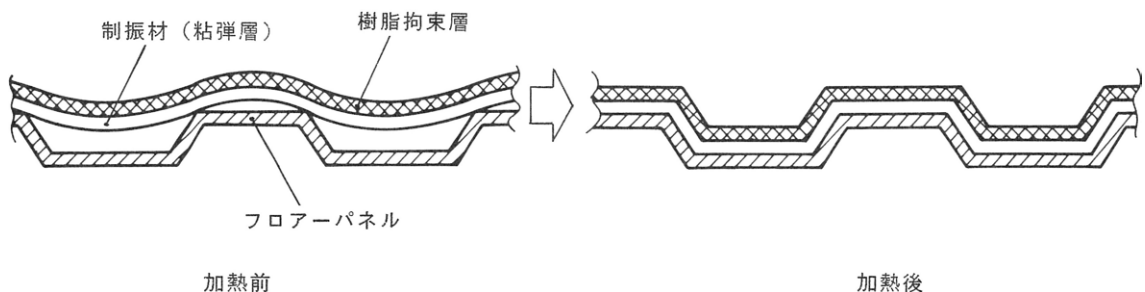


図5 樹脂拘束層の加熱による変化

なお、今回の樹脂は自己融着作用をもたないので、加熱によりアスファルト系シートがフローアパネルへ融着すると同様に、アスファルト系シート表面が樹脂拘束層に融着し固定される。

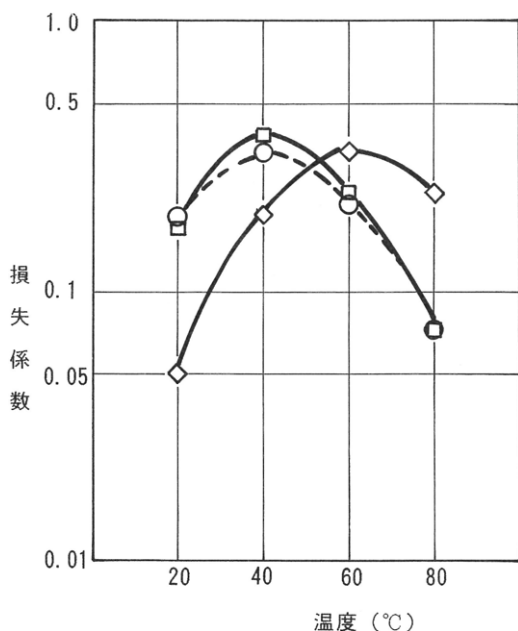
2) 制振性能

次に、今回の樹脂拘束層型制振材の制振性能について、鋼板製拘束層型と比較することにより明らかにしたい。制振性能を表わす特性としては、損失係数が代表的なものである事は先に述べた通りであるが、その他として、曲げ剛性が拘束型では特に重要な特性である。ここでは、この二種の特性について述べたい。

① 損失係数

拘束型制振材の損失係数に関する理論的背景については、3.2. で既に述べた。ここでは具体的な例を用いて考察したい。

図6は樹脂拘束層型制振材と、従来用いられている鋼板を拘束層としたものの、損失係数の比



- ; アスファルトシート 2t+樹脂拘束層 2t
 ◇ ; アスファルトシート 2t+樹脂拘束層 2t
 (非拘束型制振材と同材質)
 □ ; アスファルトシート 2t+鋼板製拘束層 0.4t

図6 制振材の損失係数

較を示す。両者とも重量はほぼ同等であり、損失係数の値も鋼板を拘束層としたものに比べて、遜色ない事がわかる。

また、ここで非拘束型に用いられる制振材をそのまま拘束型の粘弾性層として用いた場合の例も合わせて図6に示すが、この場合、前述の如くせん断パラメーターが大巾に上がり、その結果として損失係数のピークが高温側へシフトしてしまっている。すなわち、拘束型の制振構造を採用する場合には、その適用部位の温度条件を把握し、最適な粘弾性層を選択する必要がある。

② 曲げ剛性

拘束型制振材のもうひとつの特徴は、適用部位の曲げ剛性を大巾に向上できる事である。曲げ剛性は、パネル単体での固有振動数と、粘弾性層・拘束層を組み合わせた複合材としての固有振動数とから、次式にて算出される。

$$\frac{B_2}{B_1} = \left(\frac{fn_2}{fn_1} \right)^2 \cdot \frac{m_2}{m_1} \quad \text{————— ②}$$

- B_1 ; 基板(パネル)の曲げ剛性 (N・m)
 B_2 ; 複合材の曲げ剛性 (N・m)
 m_1 ; 基板(パネル)の単位面積当りの質量 (kg/m²)
 m_2 ; 複合材の単位面積当りの質量 (kg/m²)
 fn_1 ; 基板(パネル)の n 次固有振動数 (Hz)
 fn_2 ; 複合材の n 次固有振動数 (Hz)

上式により求めた、基板に対する複合材の曲げ剛性比を図7に示す。なお、テストピースの仕様は図6に示したものと同様である。

この図からわかるように、鋼板を拘束層としたものの方が、樹脂製拘束層型に比べやや高い剛性比が得られているが、非拘束型制振材に比べると約5倍の高い剛性比が得られる事がわかる。

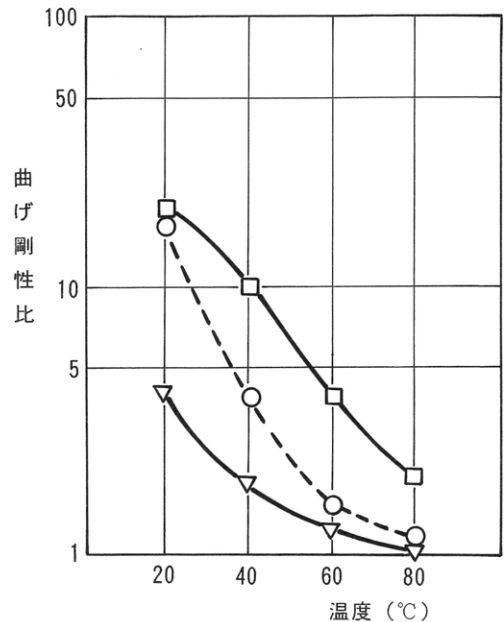
当然の事ながら、曲げ剛性の向上はパネルの固有振動数を上げる事になるため、適用される部位の共振特性を変更する事も可能となる。ただし、一般的にパネル面には、複雑な曲率形状とビード形状が形成されているため、テストピースのような平板に比べ剛性が高くなっている。このため実車に適用する場合は、その適用部位の剛性を考慮

した最適な粘弾性層と拘束層を設計する必要がある。

5. 実車適用例

今回開発した樹脂拘束層をレジェンドのフロアに適用した例について述べたい。図8は樹脂拘束層型制振材の適用部位を示している。この適用範囲については、フロアから放射される音響インテンシティの結果(図9)に基づき決定した。また、図10は適用部位における振動低減の効果を示している。

この図からわかる様に、非拘束型のアスファルトシート4tに対しアスファルトシート2t⊕樹脂拘束層タイプは、約125Hzの共振点において10dB振動のレベルを低減でき、その結果、非拘束型制振材に比べフロアからの放射音響パワーを約1.5dB低減することができた。



- ; アスファルトシート 2t+樹脂拘束層 2t
 ▽; アスファルトシート 4t
 □; アスファルトシート 2t+鋼板製拘束層 0.4t

図7 制振材の曲げ剛性比

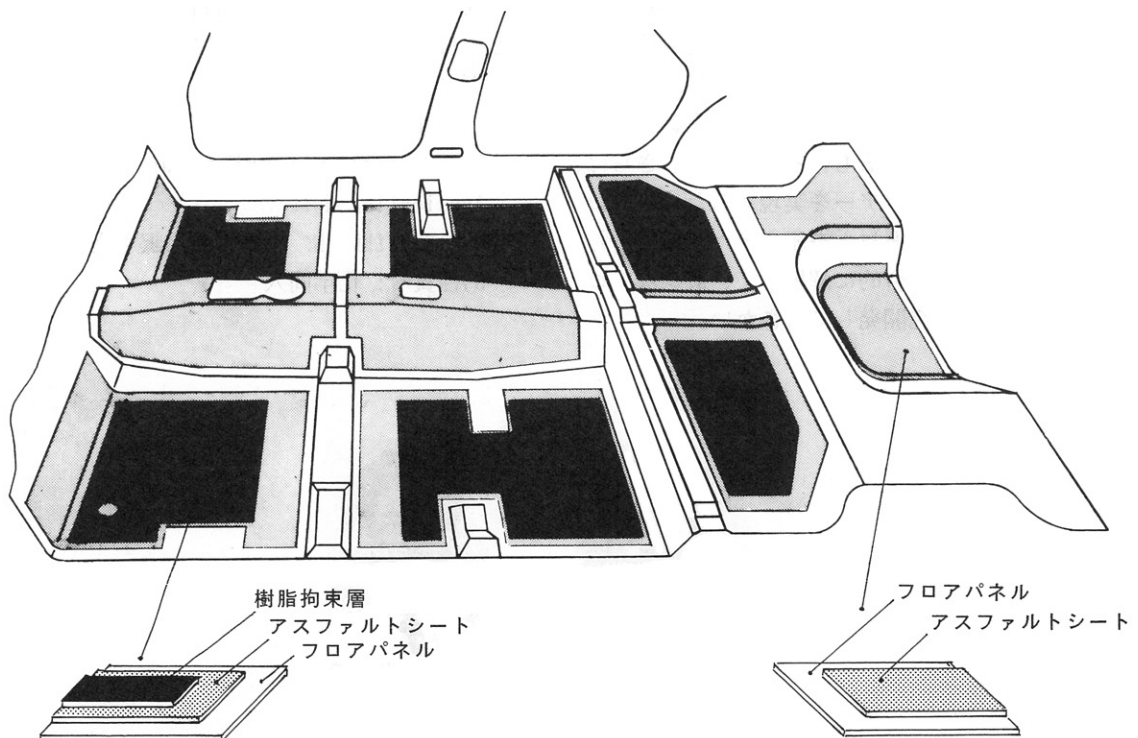


図8 樹脂拘束層型制振材の適用部位

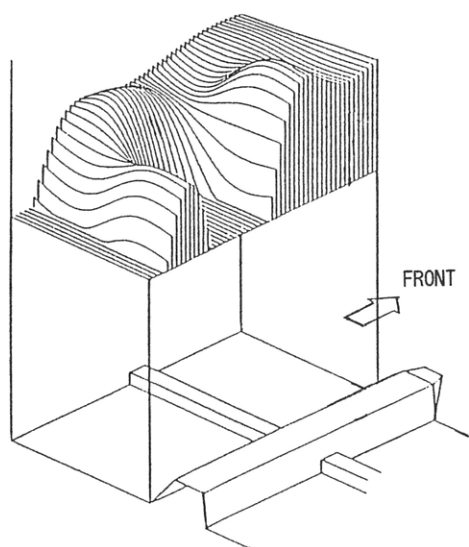


図9 フローパネルからの音響インテンシティ
(周波数 160Hz)

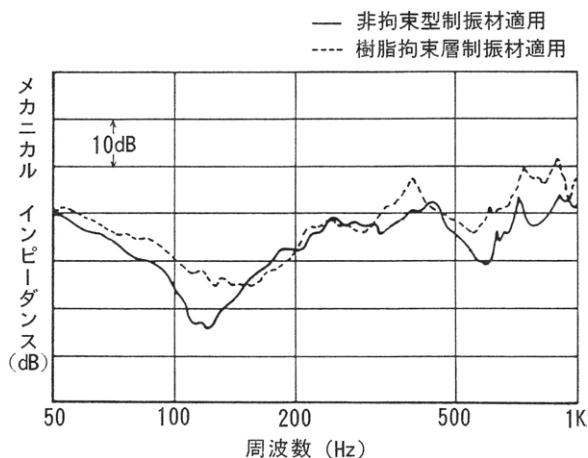


図10 フローパネルの振動特性

6. ま と め

拘束型制振構造として熱硬化性樹脂拘束層型制振材を開発し、これにより、重量増加を伴わずに性能向上を達成し、かつ生産上の問題を解決した。今後とも車室内の騒音低減は重要な技術課題であり、生産ラインでの装着の容易さ等から、樹脂拘束層の適用は拡大されるものと思われる。さらに、音響放射の少ないフローーを実現するため、フローーパネル自体と制振材とを組合せた複合材としてフローー構造を総合的に解析して、最適なフローー制振構造を研究開発して行きたい。

参考文献

- (1) L. L. BERANEK, "NOISE AND VIBRATION CONTROL"; Mc Graw-Hill Book Co.
- (2) 日本音響材料協会編, "騒音・振動対策ハンドブック"; 技報堂出版
- (3) "Measurement of the complex Modulus of Elasticity: A Brief Survey"; B & K Application Note.
- (4) L. E. NIELSEN, 小野木重治訳 "高分子の力学的性質"; 化学同人

■ 著 者 ■



芳賀 斉



中村 光 勇