

論文・解説

30

振動伝達低減パネルの開発 Development of Low Vibration Transfer Panel

宇都宮 昭 則^{*1} 中 川 興 也^{*2} 村 瀬 健 二^{*3}
 Akinori Utsunomiya Kohya Nakagawa Kenji Murase
 小 平 剛 央^{*4} 加 村 孝 信^{*5}
 Takehisa Kohira Takanobu Kamura

要 約

車体の軽量化を狙い、車体フロアのパネル放射音を、より少ない制振材で効果的に低減できるパネル構造を開発した。すなわち、パネル中央の高剛性部とパネル周囲の低剛性部からなり、この低剛性部のみに制振材を貼り付けることで、フレームからパネルへの振動伝達を効果的に低減できるパネル構造を見出した。本パネル構造を、実車のフロアパネルへ適用した結果、ロードノイズや遮音性能などに影響なく制振材が削減できることを確認した。

Summary

To lighten the vehicle body, we developed the floor panel structure that reduces sound radiation from vehicle floor panel efficiently. We developed the panel structure that consists of high rigidity part in center of panel and relatively low rigidity part of the panel in outer part of the panel, and that enables to reduce vibration transfer from frame to panel efficiently by putting mastics on only its relatively low rigidity part. By applying this panel to a vehicle floor panel, we confirmed it is to reduce mastics without making road noise and sound insulation performance worse.

1. はじめに

近年の環境問題（CO₂排出規制、省エネルギー）への対応から自動車の軽量化ニーズがますます高まり、車室内騒音低減のための対策部品も軽量化が強く望まれている。その一例として、ロードノイズ低減のため、フロアパネルに施工される制振材も、使用量をより少なくすることが望まれている。これを実現していくには、パネルの放射音発生過程を見直し、制振材をより効果的に機能させることが必要である。

フロアでのパネル放射音の発生過程は、①フレームからパネルへ振動が伝達され、②パネルが振動し、③音が放射される、という段階に分けられる。Fig.1は、その発生過程を単純化したフレームとパネルのモデルで表したものである。これまでのフロアパネルの放射音低減技術は、②のパネル振動低減⁽¹⁾⁽²⁾、あるいは③のパネル放射音低減⁽³⁾に注目したものが多く、①のフレームからパネルへの振動伝達低減に注目した研究は少ない。

そこで、①に注目して制振材をより効果的に使用できる

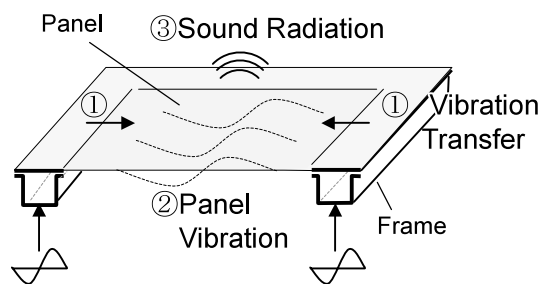


Fig.1 Panel Sound Radiation Model

車体構造の開発に取り組んだ。本稿では、その開発経過について紹介する。

2. 振動伝達低減の考え方

制振材は自身に歪みが生じることで、振動エネルギーを熱エネルギーに変換するので、振動するパネル表面の歪みが大きな部位に制振材を施工すればよい。しかし、振動するパネルの歪みは、広い周波数域の振動モードを対象とすれば、ほとんどパネル全面に分布する。一例として、Fig.2に

*1~4 技術研究所
Technical Research Center

*5 マツダモーターヨーロッパ
Mazda Motor Europe

FEMで固有振動モード解析により調べたフラットパネルの幾つかの振動モードでの歪み発生部位を示す。複数の振動モードを通じて、歪みが生じない部位はなく、ほぼ全面に歪みが生じるため、制振材は全面に施工する必要がある。

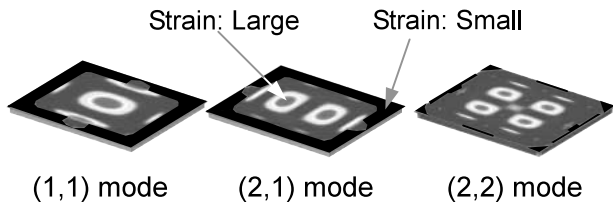


Fig.2 Strain Distribution of Flat Panel (FEM)

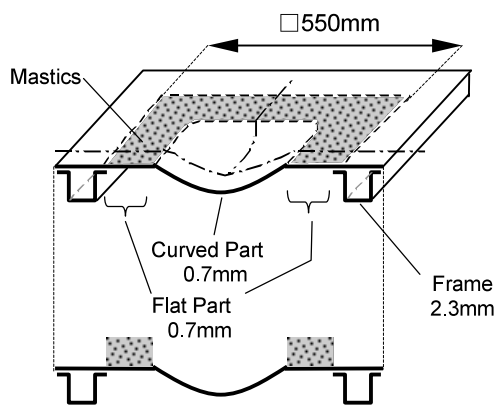


Fig.3 Panel Structure of DCP

そこで、複数のパネル振動モードで、特定の部位にのみ歪みが生じるパネル形状を検討した。すなわち、フレームからの振動がパネルへ伝達される段階で、制振材を効果的に機能させることを考えた。フレームからパネルに振動が入力されるFig.1①の部位にのみ歪みが生じるパネル形状とするため、Fig.3のようなパネル周囲にフラット部を設け、中央部を曲面として面剛性を高くする。このようなパネル形状にすれば、パネル振動による歪みは、低次の複数のパネル振動モードでパネル周囲にのみ生じ、制振材をこの部位にのみ施工すれば、効果的にパネルへの振動伝達が低減できると考えた。この考えから考案したパネル構造を、制振材の施工部位をパネル形状で特定できるようにすることから、ダンピングコントロールパネル (DCP) と呼ぶ。

3. 振動伝達低減パネルの特性

振動伝達低減パネルのテストパネルを試作し、加振実験により、フラット部への歪み集中と、この部位への制振材の施工によるフレーム部からパネル部への振動伝達の低減効果を調べた。その上で、これによる放射音低減効果と制振材削減効果も調べた。

3.1 実験方法

実験に用いるテストパネルは、乗用車のフロアパネルへの適用を考慮し、550mm×550mm、板厚はフレーム部を2.3mm、パネル部を0.7mmとした (Fig.3)。テストパネルを、音響放射特性を計測する計測装置に設置し、パネルを取り囲むフレームを電磁加振機で上下に加振した (Fig.4)。このときの歪み分布、振動伝達特性、音響放射パワーを計測した。計測する周波数範囲は、ロードノイズが問題となる100～400Hzとした。

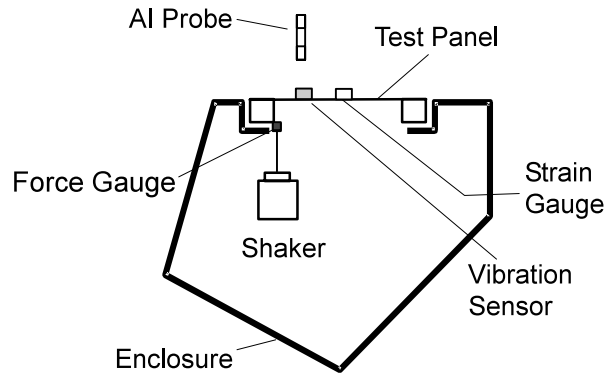


Fig.4 Measurement System

(1) 歪み分布

歪み分布は、制振材が貼られていないテストパネルについて、加振されているときの、パネル中心線上での表面歪みを歪みゲージにより計測した (Fig.5)

(2) 振動伝達特性

フレームからパネルへの振動伝達特性の計測評価法を検討した。振動伝達特性は、フレーム部を加振したときの、フレーム部とパネル部との振動エネルギーの差の評価が望ましい。ここでは、振動エネルギーを直接計測するのではなく、簡便な方法として、振動エネルギーと比例関係にある“振動速度の二乗平均”を用いた。すなわち、式①に示すフレームとパネルとの振動速度の二乗平均の比 τ_w で評価することとした。

$$\tau_w = \frac{\overline{v_p^2}}{\overline{v_f^2}} \quad \dots \text{①}$$

$\overline{v_f^2}$: フレーム面の振動速度の二乗平均

$\overline{v_p^2}$: パネル面の振動速度の二乗平均

(3) 音響放射パワー

テストパネルの音響放射パワー P は、パネル垂直方向の音響インテンシティ I を各計測点 (パネルを100×100mm間隔で区切ったエリアの中心) ごとに計測し、式②で算出した。ただし、 S_i は各計測点の面積である。また、同時に計測した加振力 F から単位加振力当たりの音響放射パワー P/F^2 を算出した。

$$P = \sum_{i=1}^{25} I_i \cdot S_i \quad \dots \textcircled{2}$$

3.2 歪み分布の評価結果

Fig.5に歪みゲージによる実測結果を示す。曲面部とフラット部、あるいはフレームとフラット部との間の形状変化の影響で、歪みが大きく変化している部分があるが、低次から高次までのモードでフラット部に歪みが集中できていることを確認した。

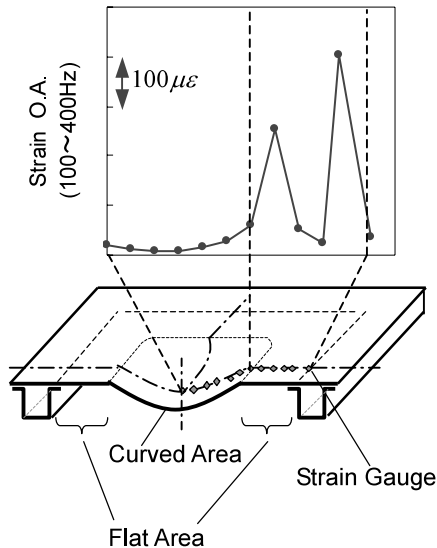


Fig.5 Strain Distribution of Low Vibration Transfer Panel (Experiment)

3.3 振動伝達特性の評価結果

振動伝達低減効果については、フラットパネルやビードパネルなどの従来のパネルでは多くの場合、制振材をパネル全面に施工してきていることから、本パネル全面に制振材を施工した場合と比較することで、その効果を確認する。すなわち、制振材をパネル周囲に施工する仕様(周辺施工)とパネル全面に施工する仕様(全面施工)を比較する。制振材の使用量の影響を調べるため、制振材板厚を段階的に増加させて、振動伝達特性の影響を調べた (Fig.6)。

Fig.7に周辺施工、全面施工における振動伝達特性を示す。縦軸に tw 、横軸に制振材の使用重量を示す。周辺施工は、全面施工に比べ、少ない制振材で振動伝達が低減できていることが分かった。特に、制振材使用量が少ない範囲でその効果が大きいことが分かる。しかし、制振材使用量が多い場合は、効果が小さくなる。その要因としては、制振材の増加による補強効果が考えられる。

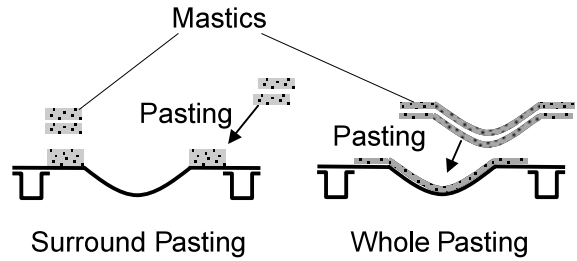


Fig.6 Pasting Pattern of Measurement Panel

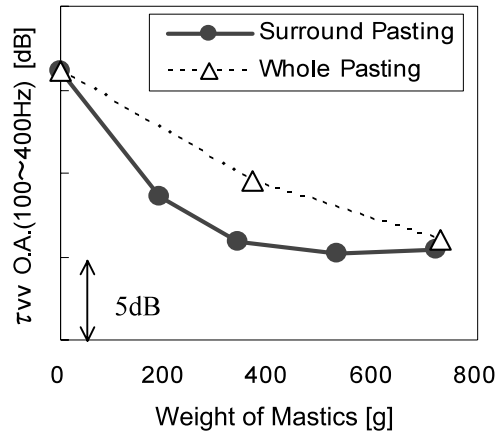


Fig.7 Vibration Transfer Characteristic (Test Panel)

3.4 音響放射パワーの評価結果

Fig.8に周辺施工、全面施工における、音響放射パワーを示す。縦軸に単位加振力当たりの音響放射パワー、横軸に制振材重量を示す。周辺施工は、全面施工に比べ、少ない制振材でパネルからの音響放射パワーを低減できていることが分かった。また、振動伝達特性と同様、制振材重量が少ない範囲でその効果が大きい。たとえば、全面施工の400gでの音響放射パワー (A) は、周辺施工では200g (B) で同等の音響放射パワーにできるので、制振材使用量は約半分にできる。

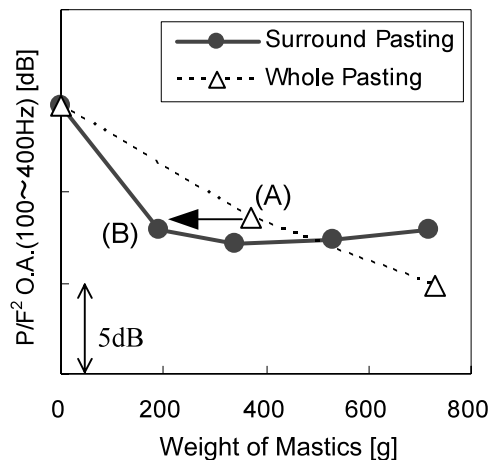


Fig.8 Acoustic Power (Test Panel)

4. 実車適用

実車のフロア構造では、前章でのテストパネルを用いた実験とは異なり、対象とするパネル周囲の構造や振動入力の状態が複雑であるため、同様の効果が得られるかは不明である。そこで、DCPを実車のフロアパネルへ適用し、制振材をフラット部のみに施工した仕様と全面に施工した仕様を比較することで、制振材削減効果を調べた。また、DCP適用による他性能（遮音性、パネル面剛性）への影響も調査した。Fig.9にDCPをフロントフロアに配置した例を示す。

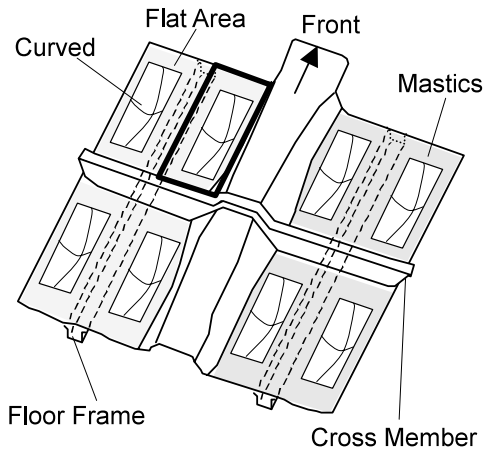


Fig.9 Application to Vehicle Floor

4.1 DCPを適用したフロアの特徴

Fig.10に周辺施工と全面施工のそれぞれについて、車体の振動入力部位であるサスペンションクロスメンバ取り付け部を加振したときのフロントフロアでの音響放射パワー P/F^2 の計測結果を示す（フロアマットなしで、フロントフロアの120点を計測した総和）。縦軸に単位加振力当たりの音響放射パワー P/F^2 (100~400HzのO.A.)、横軸に制振材重量を示す。テストパネルでの計測結果と同様に、周辺施工は、全面施工と比べ、制振材使用量が少ない範囲で、放射音が効果的に低減できており、実車においても効率良く振動伝達を低減できている。制振材使用量が多い場合、周辺施工の音響放射パワー低減効果がないのは、3.3節で述べたように、制振材が厚くなったことによる補強効果が考えられる。

そこで、制振材使用量を周辺施工で段階的に増加させた場合の、実車フロアパネルの面剛性の変化を調べた (Fig.11)。面剛性は、実車フロアのひとつの振動伝達低減パネル (Fig.9太い実線部) について、パネル中央を垂直方向に荷重をかけたときの、その点での変位量から求めた。制振材使用量が、約400gあたりから、面剛性が急激に高くなっていることが分かる。このことから、制振材の増加による補強効果によって、フラット部と曲面部の剛性差が小さくなり、その結果、振動伝達、音響放射パワーの低減効果も小さくなった、といえる。

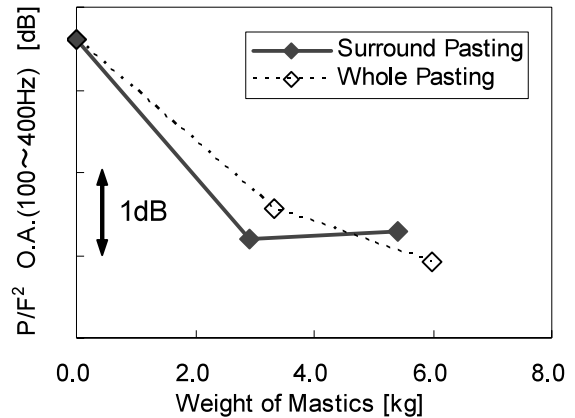


Fig.10 Relation between Weight of Mastics and Acoustic Power

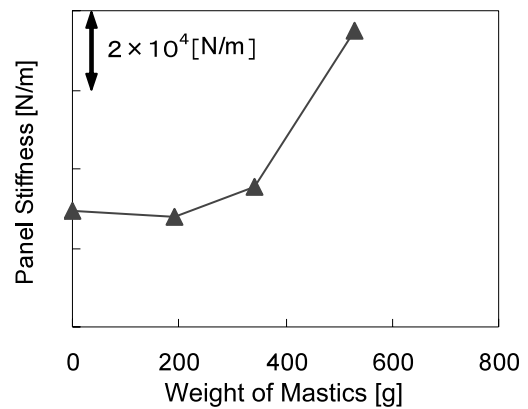


Fig.11 Relation between Weight of Mastics and Panel Stiffness (Vehicle Front Floor Panel)

4.2 DCP適用時のロードノイズ性能

実走時のロードノイズの計測結果をFig.12に示す。ここでは、制振材使用量が少ない範囲で周辺施工と全面施工を比べた。全面施工での制振材重量6.3kgに比べ、周辺施工の制振材重量は約1kg少ないが、ロードノイズは同等レベルを実現している。以上により、テストパネルで確認した少ない制振材で振動伝達を低減できることを、実車においても確認できた。

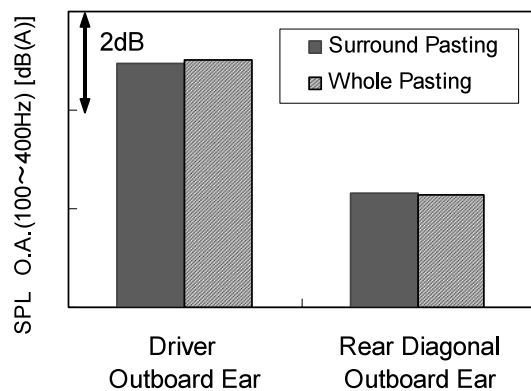


Fig.12 Influence on Road Noise

4.3 他性能への影響

(1) 遮音性能

DCPの適用により、パネル中央部の制振材を取り除いているため、従来の貼り方である全面貼付に比べ、遮音性能が悪化することが考えられる。一方、音のパネル透過は、パネル振動をともなって反対面から音を放射する現象であることから、DCPが有効な、音を放射するパネル振動と同様の現象であるので、DCPは遮音にも有効で、その悪化はないとも考えられる。そこで、エンジン、フロントタイヤ、リアタイヤ、排気音の遮音量評価を行った。Fig.13に評価結果を示す。現行車とDCP適用車の平均遮音量は同等であり、DCPをフロアに適用しても遮音性能に影響ないレベルであることが確認できた。

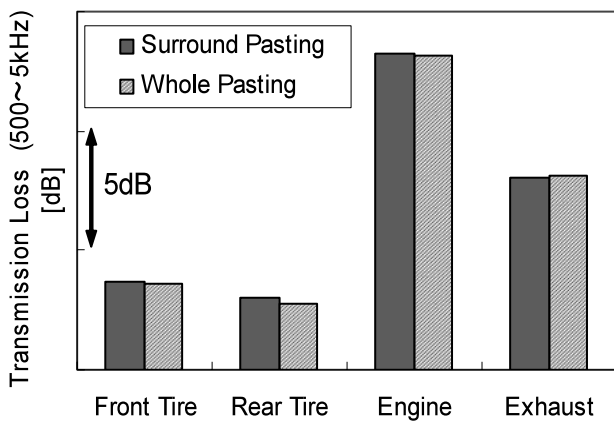


Fig.13 Transmission Loss

(2) パネル面剛性

更に、乗降時フロア変形による不快感を与えないため、DCPが実用上問題ないレベルの面剛性が確保できているかを、形状が異なる3車種のフロアの面剛性を比較した (Fig.14)。その結果、DCPは当社の量産車に適用実績のあるMCP (Mode Control Panel)³⁾の面剛性と同等以上であり、適用上問題ないことが確認できた。

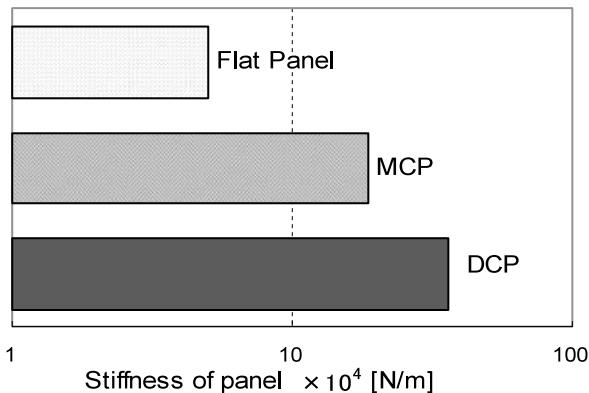


Fig.14 Comparison of Panel Stiffness (Full Vehicle)

5. まとめ

車体フレームからパネルへの振動伝達に注目した、パネル振動の基礎実験を行うことで、パネル形状と制振材の働きやパネル振動との関係を明らかにした。これにより、

- (1) パネル形状を変えて、パネル振動による歪みをパネル周囲のみに生じさせ、制振材施工もパネル周囲のみとした振動伝達低減パネル (DCP) を開発した。
- (2) 更に、この振動伝達低減パネル (DCP) を、量産車のフロアパネルに適用した結果、ロードノイズや透過音を悪化させることなく、制振材の使用量が少なくできることを確認した。

参考文献

- (1) 新田ほか：制振材の効率的な利用に関する一指針（制振材料の選定とその配置について）、自動車技術会学術講演会前刷集，No.66-99，p.17-20（1999）
- (2) 山口ほか：制振材を積層した自動車車体用パネルの減衰特性の有限要素解析（第3報，散逸エネルギーの分布を集約できるビード形状）、日本機械学会論文集（C編），70巻，699号，p.76-82（2004）
- (3) 加村ほか：パネルの放射音低減によるロードノイズの改善，自動車技術会学術講演会前刷集，No.976，p.327-330（1997）

著者



宇都宮昭則



村瀬健二



小平剛央



加村孝信