

自動整列供給装置の防音対策 (エレベータフィーダ)

大阪支所 辻井康裕, 槇野俊文, 麻谷光男

まえがき

自転車の生産工場が発生する騒音の多くを占めるプレス機械(音源)に対する防音対策として、昭和51年度および52年度に実用的な簡易型防音装置を試作し、公害ばかりでなく、室内作業場の騒音環境の改善に寄与した。しかしながら、近年省資源、省力化に伴い、作業工程の自動化が急速に進められ、図1のごとく、プレス周辺機器から発生する騒音は、加工音と同等あるいはそれ以上に達し、プレス音源の防音対策とともに、これらプレス周辺機器からの騒音をも低減しなければならない状態にある。したがって、これらの点に着眼し、自動整列供給装置の現状を調査するとともに、物の落下など衝撃により機械構造物が振動して発生する二次的な騒音(二次固体音)の防音材として市販されているダンピングシート(制振材)を、形状と板厚の異なった鋼板製基板に接着し、振動論的な見地から、大阪府立大学工学部橋本研究室に損失係数の測定を依頼し、あわせて当大阪支所で、対策前後の音圧レベルの差から減音効果を測定し、ダンピングシートの特性の解析を行った。これらの材料分析結果をふまえて、自動整列供給装置のホップモデルに対策を施し、実験研究を行ったので、ここに報告する。

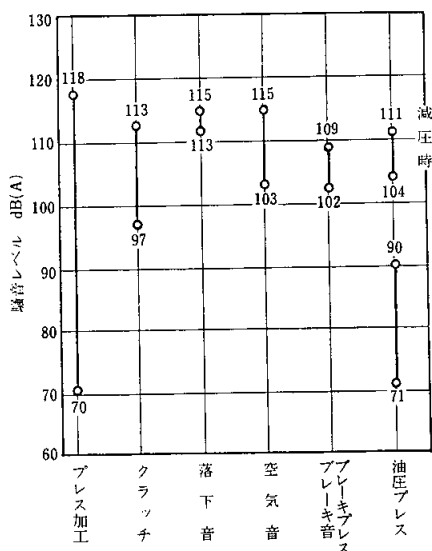


図1 プレス加工時の騒音

1 自動整列供給装置

自動整列供給装置としては、パーツフィーダ(写真1)、ドラムフィーダ、スイングフィーダ、エレベータフィーダ(写真2)などがある。

これら材料の供給を自動化するための各種装置の総合機能と、経済性を比較し、小物ワークの場合を表1に、大物ワークの場合を表2に示す。同表で比較してみると、小物ワークにはすべての点でパーツフィーダが優れていることがわかるが、高所設置の場合にはエレベータ



写真1 パーツフィーダ

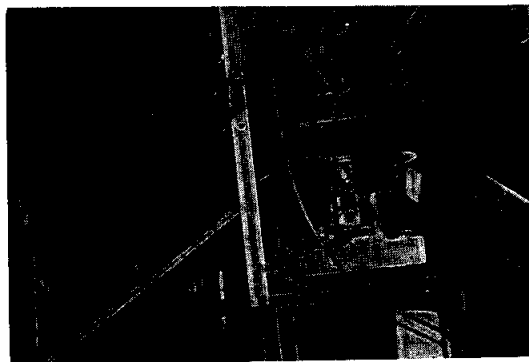


写真2 エレベータフィーダ

表1 自動整列供給装置の総合機能 小物ワーク (最小φ2×ℓ2mm, 最大φ40×ℓ60mm)

装置名	項目	経済性	整列能力	騒音	信頼性	投入ひん度	整列機能	持上げ機能
パーツフィーダ		◎	○	○	○	△	◎	×
ドラムフィーダ		△	○	○	○	△	×	×
スイングフィーダ		△	○	○	○	○	×	×
エレベータフィーダ		△	○	○	△	◎	△	◎

◎:優れている ○:普通 △:劣っている ×:不良

表2 自動整列供給装置の総合機能 大物ワーク (最小φ30×ℓ30mm, 最大φ140×ℓ60mm)

装置名	項目	経済性	整列能力	騒音	信頼性	投入ひん度	整列機能	持上げ機能
パーツフィーダ		△	○	×	○	×	◎	×
ドラムフィーダ		△	△	×	△	×	△	×
スイングフィーダ		△	△	△	△	△	△	×
エレベータフィーダ		○	◎	○	◎	◎	○	◎

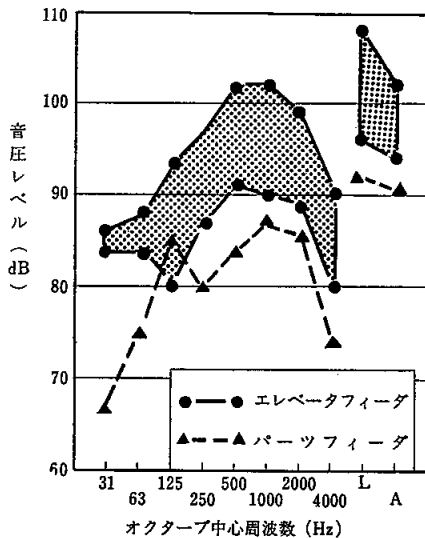


図2 自動整列装置の騒音発生状況

フィーダを必要とする。また、大物ワークにはすべての点でエレベータフィーダが最適であり、特に高所供給時にはその長所を十分に発揮している。

騒音の現状は図2のごとく、エレベータフィーダの騒音レベルがパーツフィーダより4~10dB高い。これはエレベータフィーダでワークの整列を行って自動送り出しする場合に、プレス加工部への案内ガイドからあふれたワークが、ホッパに落下するときの衝撃的な騒音が、パーツフィーダの部品貯蔵部で加振整列されたときに生ずる振動音より高い騒音レベルを示すからで、周波数分析結果より、エレベータフィーダの騒音分布は、物の落下によるため全周波数領域のデータのばらつきが大きく、特に250Hz以下の周波数領域で高いレベルを示した。

2 制振効果とダンピングシート

騒音を制御する場合に振動の制御が有効であることが

よくあり、振動に関する処置として振動シャ断と制振がある。例えば、機械やコンプレッサで発生した起振力が床への支持部を通して構造体(建屋、へい)に伝ばし、他の部屋の壁や天井を振動させて音を発生させる固体伝送音を建屋の構造体に伝えないため、防振ゴムやばねを用いて力の伝達を少なくする方策<振動シャ断>と、振動減衰の小さい金属製の機械のカバーや空調ダクトなどが、機械的、音響的に励振されて振動し、それらが直接音響放射面となり、騒音(二次固体音)を発生することを防止するため、これらの振動エネルギーを熱エネルギーなど他の形態にかえて消費し、板の振動をなくする方策<制振>がある。後者の対策には防振塗料や制振てん付材料が使用される。これら制振用材料を総称してダンピング材料(Damping Material)と呼ぶ。制振材料の取付方法は、塗布方式、スプレー方式と接着方式がある。実験には、既存設備に対する防音対策として取付方法の簡単な接着方式(ダンピングシート)のものを検討した。

次にダンピングシートの使用例をあげると、

- (1) 工場設備などのタンクやホッパ、パイプ、ダクトのたぐいで、振動で音が出ているような場所に巻いたり、てん付して騒音制御する方法。
- (2) 自動車のボンネットや床、鉄道車両の車体などに防さびや防熱、防音をかねて塗料を塗布したり、シート状のものをてん付して騒音を制御する方法。
- (3) 航空機、ロケットミサイルなどの高速飛行体で、エンジンの振動や機体と空気の境界層で生ずるかく乱による機体振動をとるために、制振材料を使用して騒音を制御する方法。

などである。ダンピング材料は、防さび、断熱やしゃ音の効果を有し、また、材料の振動による疲労、破壊などにも効果がある。

3 実験計画

表3 ダンピングシートと諸特性

記号	No.	試料名	厚さ(mm)	重量(kg)	損失係数	単価(円/m ²)
●	1	鋼製基板	—	—	0.004853	—
×	2	A社ゴム系制振材	2.0	12.6	0.04000	975
○	3	B社 "	3.5	13.4	0.08247	10,000
△	4	C社 "	2.0	12.7	0.03371	8,000
▲	5	C社 " (拘束層付き)	2.3	12.75	0.08140	12,000
□	6	鉛板	0.5	13.1	0.03437	9,200
■	7	"	0.3	12.7	0.03356	6,800
▽	8	マグネチックラバー	3.0	14.5	0.06032	37,200
★	9	サンドイッチ鋼板	2.3	4.0	0.3567	5,000

3.1 減音効果

3.1.1 実験装置

今回試作した実験装置の各部の構造は図3のごとくである。減音効果の測定は、音源用鋼球を装置上部のホッパから導管を通して装置前面に支持したテストピース中央部へ衝突させる。なお、衝突後落下した鋼球どうしが当たって騒音を発生させないように布製のカバーで鋼球を捕収する。ホッパモデルの場合、導管を長いものと交換し、ホッパモデルの側壁に衝突させる。衝突後の鋼球はモデル内部に蓄積させる。

3.1.2 テストピース

ダンピングシートの減音効果測定に用いるテストピースは、縦、横それぞれ500mmの正方形で、板厚が1.6mm, 2.0mm, 6.0mmの3種の鋼板を基板とし、市販のダン

ピングシートをてん布する。テストピースの概略図および実験に使用したダンピングシートの種類と諸特性を図4(a)および表3に示す。

3.1.3 ホッパモデル

ホッパモデルは、図4(b)に示すごとく、上辺500×下辺300×高さ400mmの台形角すい形状で、モデル基板の鋼板の板厚は2.0mmである。ホッパモデルに使用したダンピングシートの組合せは次のとおりである。

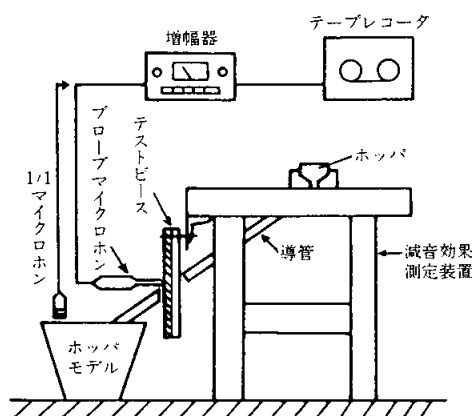
- イ. 鋼板製 試料番号 1
- ロ. ゴム系制振材 2
- ハ. 拘束層付きゴム系制振材 5
- ニ. サンドイッチ状鋼板 9

3.1.4 実験方法

実験音源の直径2.0mmの鋼球は、減音効果測定装置上部のホッパより導管を経てテストピースおよびホッパモデルの基板面に衝突し衝撃性の連続音を発生する。

測定は、受音用センサとしてブリュエルケア(B&K)社製4224型ピストンホンで校正した同社製4170型ブロー

(a) 測定



(b) 解析

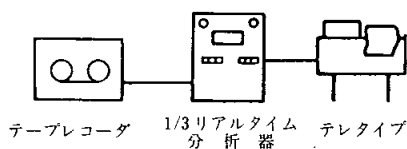
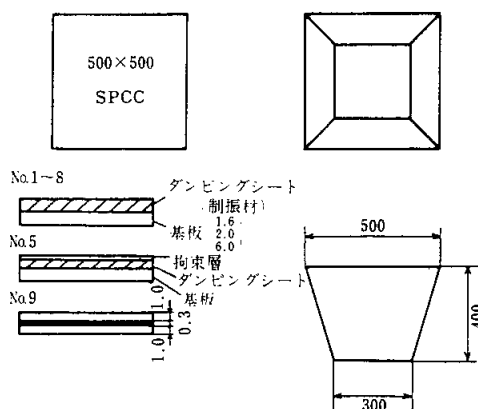


図3 測定ブロック線図(減音効果)

(a) テストピース (減音効果) (b) ホッパモデル



(c) テストピース(損失係数)

図4 試料概略図

ブマイクロホン(テストピース用),あるいは同社製4145型1/1インチマイクロホン(ホップモデル用)を通し,同社製2606型増幅器で増幅し,クデルスキー社製ナグラ4-S D型テープレコーダに録音する。データの解析は,テープレコーダを再生し,B&K製3347型1/2オクターブリアルタイム分析器で周波数分析を行い,テラタイプに印字する。データは0.1秒ごとに100回の周波数分析を行い,その平均音圧レベルで表示する。暗騒音の測定および解析は,録音テープごとに数分間録音して分析した。なお,測定および解析のブロック線図は図3に示す。

3.2 損失係数

3.2.1 実験装置

実験装置の概略とブロック線図を図5に示す。装置は伝達関数測定装置を用い,発振器,増幅器,振動計,トラッキングフィルタ,対数変換器,X-Yレコーダをまとめたものである。

3.2.2 テストピース

損失係数測定用のテストピースは,長さ700×幅30×厚さ3.2mmの鋼板製基板にダンピングシートをてん付し,加振器に取り付けるため,中心に直径10mmの穴を設けた〔図4(c)参照〕。

3.2.3 実験方法

実験は周波数応答法を用いる。この方法は,図5のごとく加振器でテストピースの固定端を励振し,固定点の振動速度と力を測定して駆動点インピーダンスを測定し図5のX-Yレコーダ内のグラフのような共振曲線を得る。この一次,二次,三次,……共振周波数(f_0)のエネルギーのピークから,3dB下のエネルギーが半分になる地点(図6参照)の周波数バンド幅 f_1, f_2 より,

$$Q = \frac{f_0}{f_2 - f_1} \dots\dots\dots(1)$$

で定義される。ここでQは,共振の鋭さを表わすQ値といい,損失係数は次式により算出する。損失係数と他のダンピング表示量との関係は,次のとおりである。

$$\eta = 1/Q \dots\dots\dots(2) \quad \eta: \text{損失係数}$$

$$df = f_0 \cdot \eta \dots\dots\dots(3) \quad Q: \text{キュー}$$

$$T = 2.2/f_0 \cdot \eta \dots\dots\dots(4) \quad df: \text{半値幅 (Hz)}$$

$$T: \text{残響時間}$$

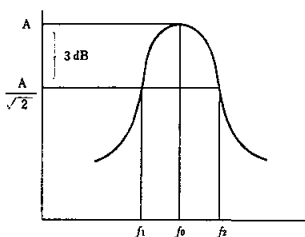


図6 周波数応答曲線

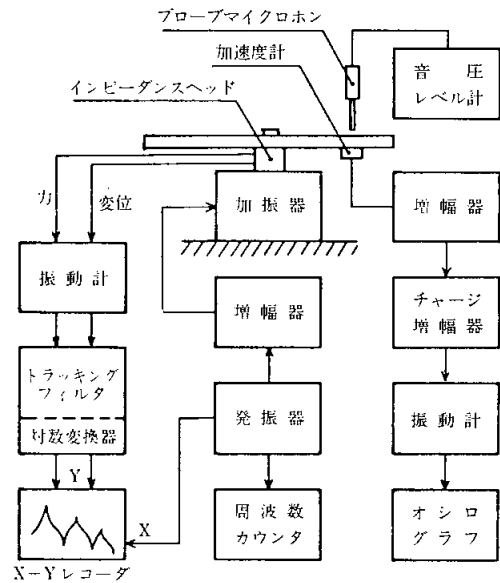


図5 測定ブロック線図(損失係数)

また同時に,テストピースをn次の共振周波数で励振し,加振力を変化させた場合の振動加速度振幅と音圧レベルを測定する。振動加速度振幅の測定には加速度計をそして音圧レベルの測定にはブローブマイクロホンを用い,加振力はインピーダンスヘッドで検出する。

4 実験結果および考察

4.1 ダンピングシートの減音効果

ブローブマイクロホンを通して測定した,各ダンピングシートを接着したテストピースの発生音圧レベルを,板厚ごとに図7に示す。音源の衝撃力が一定であるため板厚が厚くなるに従って音圧レベルは低減した。各ダンピングシートごとの減音効果と,その周波数分析結果を図8,図9に示す。減音効果は,ダンピングシートをてん付する方法よりサンドイッチ鋼板方法が優れていた。

ダンピングシートをてん付する方法で,基板の板厚が薄い場合,試料間に減音効果の差は見られず,基板厚さが1.6mmでは20dB,2.0mmでは14dBの減音効果である。一方,基板の板厚が6.0mmと厚い場合,減音効果の大きいグループと小さいグループの二つに分けることができ,その効果は7~13dBである。

サンドイッチ鋼板の場合板厚は2.3mmであるが,その減音効果は23dBであった。

周波数分析結果を検討してみると,図9のごとく,基板厚さの薄い1.6mmでは材料間に差は見られず,250Hz以下の低周波数領域と,2,000Hz以上の高周波数領域で減音効果は高く,すべての材料に一樣であった。しかし

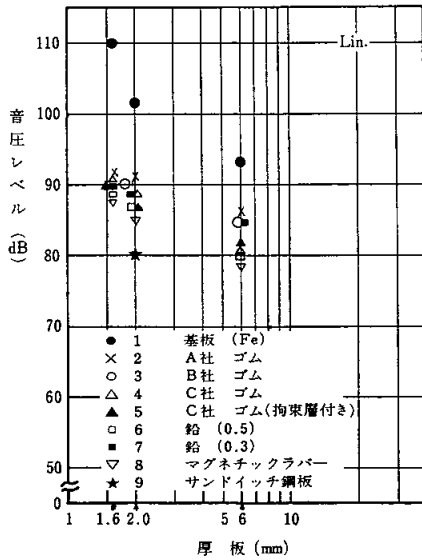


図7 板厚別音圧レベル

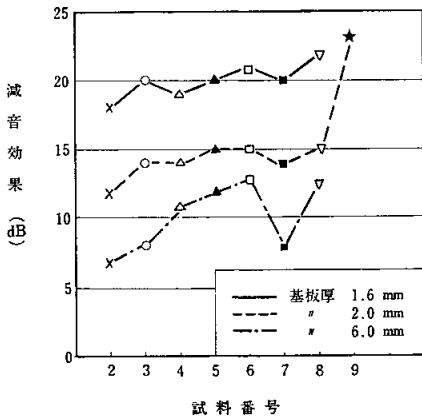


図8 試料別減音効果 (Lin)

ながら、基板の板厚の厚い6.0mmでは、周波数分析結果においても材料間較差は大きくばらつき、減音効果の高いものは、低周波数および中周波数領域で効果が大きかった。

基板重量 (G) とダンピングシート重量 (g) の比と減音効果の関係を図10に示す。図より接着方法においては重量比を一定値 (0.06) 以上に改善を行っても、減音効果の大幅な増加は望めない。

本実験では減音効果を求める場合、音源用鋼球はすべてのテストピースの基板に当てて音圧レベルを求めたがダンピングシートを基板の内面に接着させてダンピングシートに鋼球を当てると、2~4dB 減音した。しかしながらこの方法は、ダンピングシートの破損が著しく、減音効果から見てあまり得策とはいえない (図11参照)。

以上の結果より、本実験に使用したテストピースのような板状材料は、図12のごとく低周波数領域での板共振

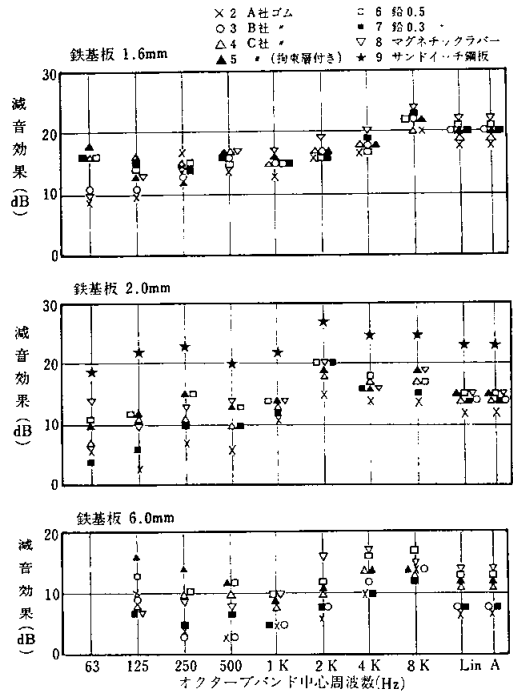


図9 板厚別周波数特性

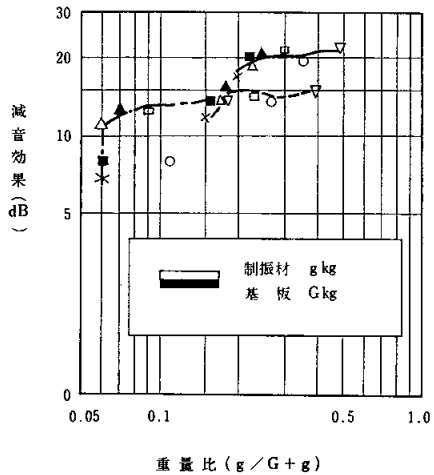


図10 重量比と減音効果

のダンピング効果と、高周波数領域でダンピングシートでん付による面密度の増加による効果の双方に依存性がある。ダンピングシートの温度依存性は、常温で使用するものとして検討を行わなかったが、図13のごとくゴム系、合成樹脂系のダンピングシートでは、温度によって特性が変化するので、使用に際しては注意を要する。

4.2 ホッパモデルの減音効果

図14はホッパモデルの受信側音圧レベルと減音効果を示す。結果は、ホッパモデルにてん付したダンピングシートと同じシートを用いたテストピースの減音効果と音

板厚	打撃面	基板側	制振材側
1.6mm	○	○	●
2.0mm	△	△	▲
6.0mm	□	□	■

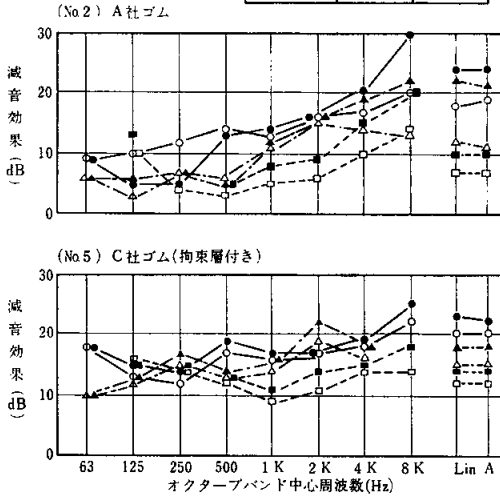


図 11 打撃面による減音効果の比較

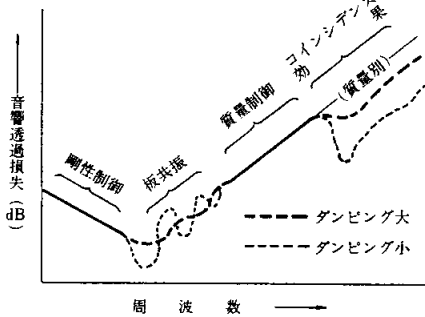


図 12 板材の音響透過損失に対するダンピング効果

圧レベルを比較するため同時に表示した。サンドイッチ鋼板以外のデータはテストピースで行った実験結果と 1~2 dB の範囲内でよく近似している。例えば、拘束層付きダンピングシートをてん付した場合、14dB 減音し、音圧レベルは 86dB となった。

サンドイッチ鋼板の減音のメカニズムが異なるため構造物 (ホッパモデル) の減音効果がテストピースに比べて低い値となったが、なおその効果は 18dB 有し、他の接着方式より優れていた。周波数分析結果も図15のごとく、テストピースの実験結果と一致していた。

4.3 損失係数

実験に使用したダンピングシートの損失係数の測定結果は表3に示す。また、代表的なダンピングシートについて、加振力と振動振幅そして音圧レベルの関係を図16、図17に示す。図16より、加振力が一定の場合、損失係数の大きなものほど音圧レベルが低い。本実験におい

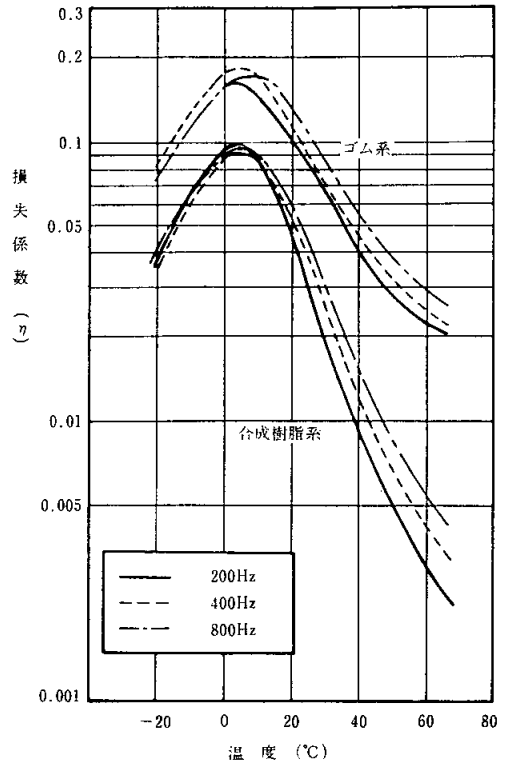


図 13 ダンピングシートの温度依存性

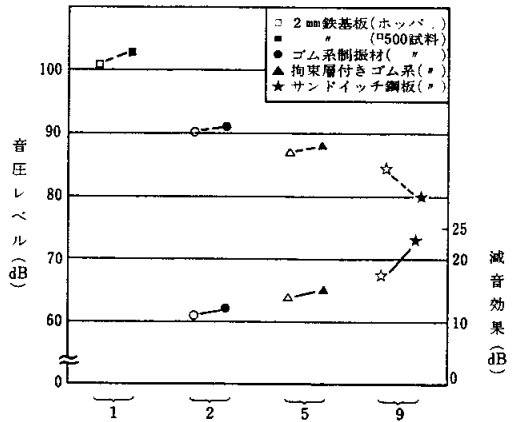


図 14 ホッパモデルの減音効果

てもサンドイッチ鋼板の効果は他の接着方式より大である。図17より、振動加速度振幅と音圧レベルの間に対応関係があり、振動加速度振幅がわかれば、おおよその放射音圧レベルを推定することができる。

機械的励振がある場合の減音量 $4L$ (dB) は、加振のパワーが一定であるとすれば、共振状態でダンピング処理前の η_0 と、処理後の η' から、

$$4L = 20 \log_{10} \eta' / \eta_0 \dots\dots\dots (5)$$

で表わされる。しかしながら実際は、音の放射率の問題や、励振が共振状態とみるよりテストピースにランダム

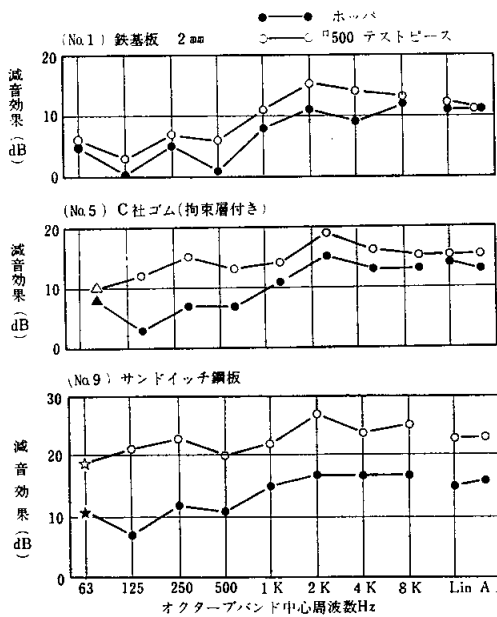


図 15 ホッパモデルの周波数分析

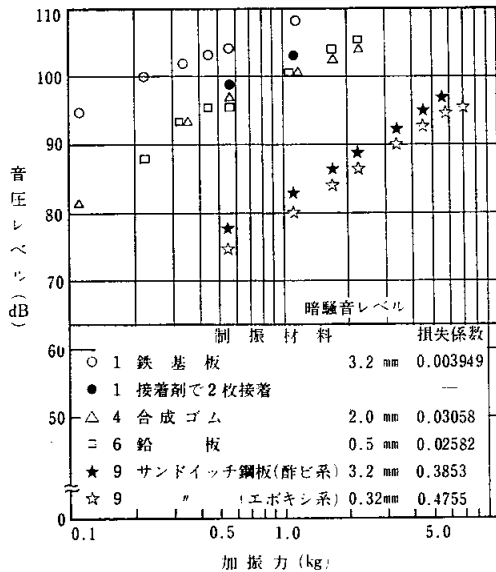


図 16 加振力と音圧レベル

な加振があり、多くのモードがある場合にはダンピング処理することにより、振動の小さい部分がふれることになるなど振動パワーとして考え、

$$4L = 13 \log_{10} \eta / \eta_0 \dots\dots\dots (6)$$

とすることにより、前項減音効果のテストピース結果とよく一致した。

まとめ

実験結果を要約すれば、

- (1) サンドイッチ鋼板は、他の接着方式のダンピングシートより減音効果が優れていた。
- (2) ダンピングシート方式で基板の板厚が薄い場合、

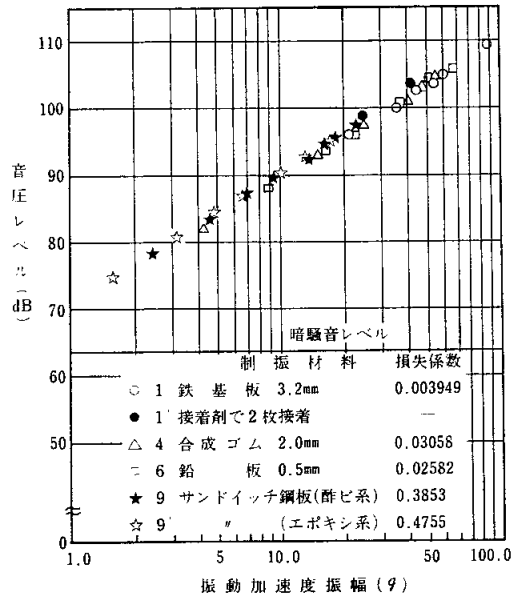


図 17 振動加速度振幅と音圧レベル

材料間の有意差は見られず、その効果は1.6mmで20dB、2.0mmで14dB低下した。

- (3) ダンピングシート方式で基板の板厚が厚い場合、材料固有の特性が現われ、6.0mmでは鉛板0.5mm、マグネチックラバー、拘束層付きゴム系シートの順で効果が大きい。特に低周波数領域での効果の差が大であった。
- (4) 周辺固定のホッパモデルの減音効果および周波数分析結果は、周辺自由のテストピース実験結果と2~3dBの範囲で一致していた。
- (5) 加振力が等しい場合、損失係数が大きいほど振動加速度振幅が小さくなり、音圧レベルも低い。
- (6) 振動加速度振幅がわかれば、放射音圧レベルが推定できる。

しかしながら、このように制振方法を使った防音を設計に取り入れるには、振動減衰を取り入れた構造分析法により、さらに明確なものとしなければならない。

おわりに、本研究を行うにあたり、指導を賜った大阪府立大学橋本文雄教授、久米端文助手、大阪府公害監視センター中村隆一検査課長、松井千明技師および損失係数測定に協力いただいた大阪府立大学博士課程前田節雄君に深く感謝いたします。

文献

- 1) 振動工学ハンドブック、谷口修、養賢堂
- 2) 騒音対策ハンドブック、日本音響材料協会編、技報堂
- 3) Hand Book of Noise and Vibration Control 2nd edition. Frade and Technical Press Ltd
- 4) Shock & Vibration Hand Book 2nd edition. Mc Graw Hill
- 5) 自動化技術、第10巻3号、工業調査会