

# 振動試験による精密機器の故障解析（第1報）

## —緩衝材による電子機器の振動特性—

岩間貴司・大柴勝彦・石原道雄

### Study on Failure Analysis of Precision Instrument Using Vibration Test System (Part I)

—Vibration Characteristics of Electric Instruments  
by Using Package Cushioning—

Takashi IWAMA, Katuhiko OSHIBA and Michio ISHIHARA

#### 要 約

近年、電子機器は高機能化に伴い集積化および軽量化が進み製品輸送時および使用時に様々な環境下で衝撃・振動を受けている。これらが原因となり電子機器が故障する事例が多いと言われている。本研究では電子機器を輸送する際、多く使用されている緩衝材の防振特性について、振動試験機を用いて試験解析を行った。その結果、緩衝材に関して、初期弾性率の最も低い軟質ポリウレタンフォームを素材とした緩衝材が最適である事が確認され、包装対策後、輸送を想定した振動試験を行った結果、機能的に最も重要な基板に対して十分な防振対策が可能となった。

#### 1. はじめに

近年、精密機器等は高機能化に伴い集積化及び軽量化が進み、ほとんどの製品に複雑な大型のプリント基板（PCB）が内蔵されている。さらにこれらのPCBの実装方法もデスクリットからSMTに変わり様々な使用環境において使用されている。

精密機器等の故障は、実際の使用時のみならず、製品輸送時に発生する事が意外に多いと報告されている<sup>1)</sup>。実際に、県内企業でもコンピュータ及び周辺機器を中心とした精密機器の輸送時における故障が問題になり、対策に苦慮しているのが現状である。

そこで、今回は実際に相談事例で持ち込まれたPCB等で構成された精密機器を対象として、機器固有の振動特性を把握するために、まず、外部振動により機器内部の基板等がいかにか振動するか測定し、さらに緩衝材により精密機器を包装する事により機器固有の振動特性がどのように改善されるか試験し解析した。

は外形寸法が幅43cm、奥行40cm、高さ20cm、及び重量9.5kgである。

供試体内部には、各測定点を設定し加速度ピックアップを接着剤により固定し、図1に示す振動試験装置で正弦波掃引試験を行った。

なお、供試体内部の振動状態の観察の必要性から供試体の背面パネルを取り外して本実験を行ったが、予備実験を行った際、取り外したパネルの有無による振動特性の変化はほとんど無かった。

図2に供試体の振動試験時の包装状態を示す。包装には、作業現場及び輸送に実際に使用されている緩衝材を使用し、装置の上面及び下面を緩衝材で包装し加振機のテーブルに紐で固定した。

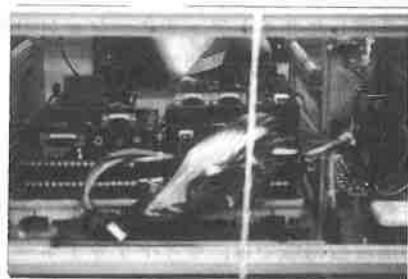


写真1 供試体

#### 2. 試験方法

写真1に試験に使用した供試体を示す。供試体

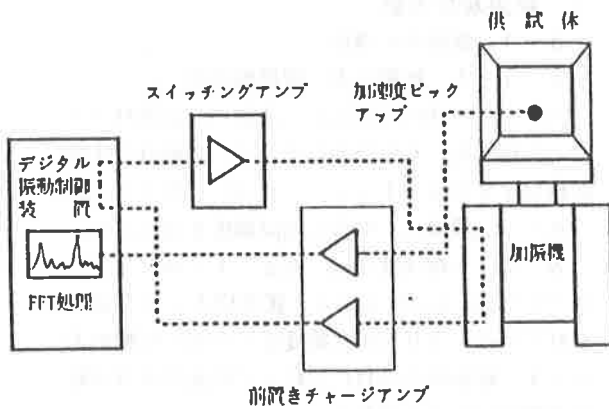


図1 振動試験装置

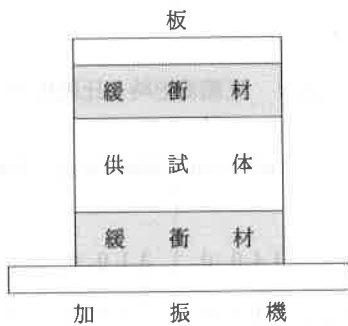


図2 供試体の包装状態

2-1 試験条件の設定

自動車による輸送の場合、バネ下の上下方向の振動は車両の走行速度が速くなるに従い大きくなり、また荷台上的の振動は路面状況によって大きな影響を受けると報告されている。<sup>1)</sup>

また、スペクトル分布で、車両が受ける振動を比較すると、走行速度が速くなるに従って、バネ下と荷台のスペクトル分布は近似され、バネ下の上下方向の振動エネルギーのピーク値は400 Hz～600 Hz以内に集中していると報告されている。(実験車両：2トントラック)<sup>2)</sup>

また、輸送試験では、輸送時に振動条件として下限周波数と上限周波数を設定し、その間を一定振幅で繰り返し掃引を実施する場合や車両懸架装置特性、道路構造、路面状態などの相互作用から特徴づけられるランダム波振動試験の実施が考え

られるが、今回は供試体各部の加速度応答特性を確認することを目的とし振動試験により供試体が疲労、破壊することを防ぐために加振加速度は0.1 Gとし掃引周波数は下限周波数5 Hz～上限周波数600 Hz及び下限周波数5 Hz～上限周波数70 Hzの間で正弦波掃引試験を行い各周波数における供試体の加速度応答を求めた。

2-2 測定箇所

図3および表1に測定箇所を示す。

供試体内部を各基板、電源、フレーム、底板等、9ブロックに分けて計65箇所に測定点を設定し緩衝材で包装しない状態で試験を行い、特に加速度応答の高い測定箇所19点に対して、緩衝材で包装をした後、各試験をおこなった。

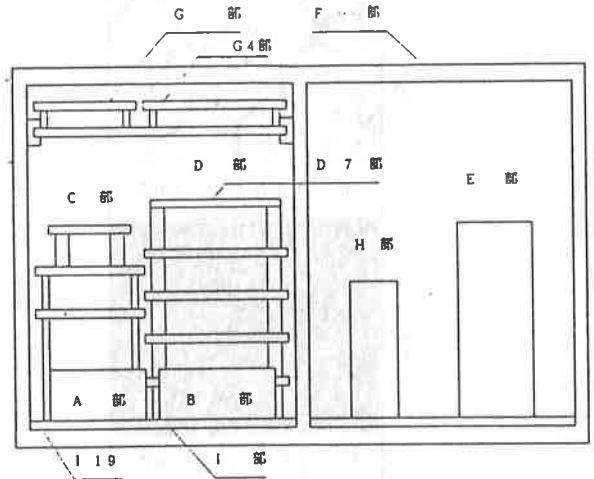


図3 測定箇所

表1 測定箇所

測定箇所	構成
A 部	1 ~ 4 中継端子
B 部	1 ~ 4 中継端子
C 部	1 ~ 5 実装基板
D 部	1 ~ 13 実装基板
E 部	1 ~ 2 電源
F 部	1 ~ 5 フレーム
G 部	1 ~ 6 実装基板
H 部	1 ~ 2 中継端子
I 部	1 ~ 22 アルミ板

## 2-3 包装用緩衝材

図4に緩衝材の断面写真及び単位体積当たりの重量を示す。

図4において、緩衝材Aは、硬質ポリエチレンフォーム、Bは軟質ポリ塩化ビニルフォーム、C及びDは軟質ポリウレタンフォームである。

AとB～Dの緩衝材では、触感的に柔らかさが極端に違い、Aと比較してB～Dの緩衝材の方が柔らかく、さらにB～Dの柔らかさを比較した場合Dが最も柔らかく、Cはほぼ同じ柔らかさと思われた。

図4の断面写真から緩衝材Dの空隙は緩衝材B、Cと比較して大きく、さらに、単位体積当たりの重量も小さいことより柔らかさの順位が裏付けられる。

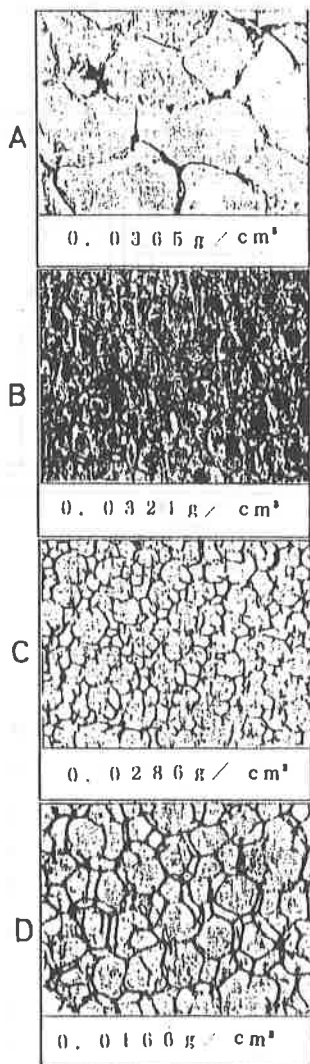


図4 緩衝材の断面写真 (×50倍)

## 3. 結果及び考察

### 3-1 緩衝材の特性

#### 3-1-1 圧縮応力-変形量特性

図5-(a)～(d)に今回実験に使用した緩衝材A～Dの圧縮応力-変形量曲線を示す。緩衝材の圧縮面積は100cm<sup>2</sup>(10cm×10cm)、厚さは2cmである。試験機は、引張圧縮試験機を使用した。

表2に、圧縮速度5mm/min、10mm/min、及び20mm/minにおいて、緩衝材A～Dをそれぞれ70%～50%に圧縮変形した時の圧縮応力を示す。緩衝材B～Dに比較して緩衝材Aは圧縮応力が高いことが分かる。

また緩衝材Aは70%～50%に圧縮変形した時の圧縮応力の増加率が大きく、緩衝材B～Dは70%～50%に圧縮変形した時の圧縮応力の増加率が極端に小さい事がわかる。

表2 圧縮変形時の圧縮応力

		5mm/min	10mm/min	20mm/min
A	70%	340.0	310.0	330.0
	50%	810.0	790.0	850.0
B	70%	3.2	3.3	3.2
	50%	3.5	3.5	3.5
C	70%	2.2	2.1	2.1
	50%	2.5	2.4	2.5
D	70%	2.0	1.9	1.9
	50%	2.1	2.0	2.0

(単位: g/cm<sup>2</sup>)

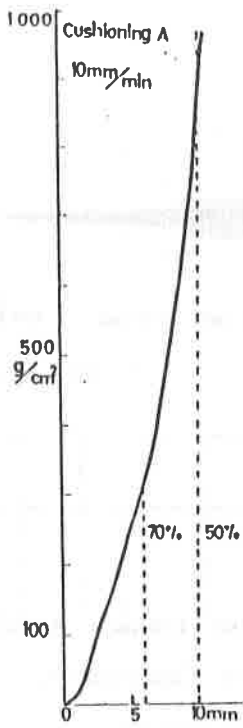


図 5 - (a)

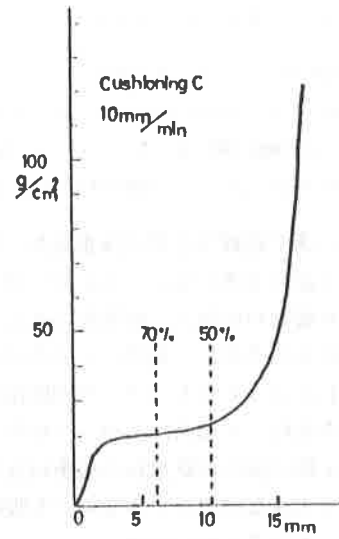


図 5 - (c)

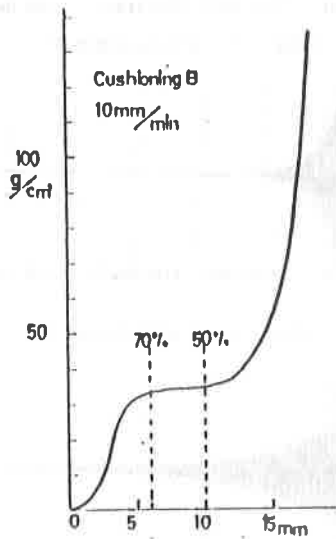


図 5 - (b)

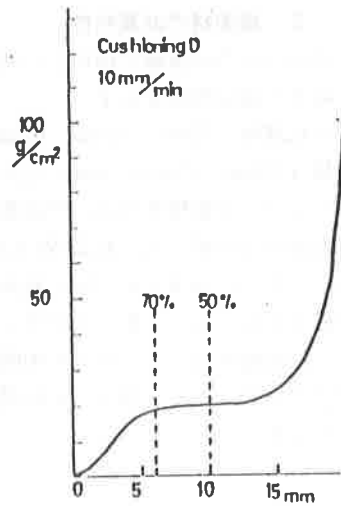


図 5 - (d)

図 5 圧縮応力-変形量曲線

### 3-1-2 耐衝撃特性について

流通過程で包装製品が落下等による衝撃を受けた場合について、以下の式を仮定する。<sup>3)</sup>

$$W(H+x) = E_p = \epsilon \cdot S \cdot t \quad (1)$$

W: 供試体重量 (kg), H: 落下高さ (cm), x: 緩衝材の変位位置 (cm),  $E_p$ : 位置のエネルギー (kg・cm),  $\epsilon$ : 単位体積当たりの緩衝材圧縮に要するエネルギー (kg/cm<sup>3</sup>), S: 緩衝材の面積 (cm<sup>2</sup>), t: 緩衝材の厚み (cm)

式(1)から落下距離及び供試体重量が一定であるならば、 $\epsilon$  値が大きいほど、S あるいは t の値が小さくなり緩衝材の厚み、面積が小さくでき経済性、廃棄性等を考慮した場合、 $\epsilon$  の値は重要であることがわかる。したがって、今回使用した緩衝材 A~D を比較した場合、S 値、t 値を一定とした場合、 $\epsilon$  値は図 5 の結果から緩衝材 A が最も大きく、より大きな位置のエネルギーを吸収することが可能であることがわかる。

これらのことから  $\epsilon$  値の小さい緩衝材 B~D を使用する場合供試体の重量 W に対して、t 値が、次の条件を満たすことが必要である。

$$W(H+x) < \epsilon \cdot S \cdot t \quad (2)$$

### 3-1-3 緩衝材の減衰特性

図 6-(a)~(e) に今回試験に使用した緩衝材の曲げ応力に対する減衰特性を示す。

減衰特性は薄板 (120mm×120mm×0.8mm 89.5g) に各緩衝材 (120mm×120mm×20mm) を接着し、インパルスハンマーで衝撃を与え、その衝撃の減衰する時間の長短で比較した。減衰時間は緩衝材 A が最も短く、B、C はほとんど同じ減衰時間を示し、D が最も長かった。これらの結果より曲げ応力に対する減衰特性は、柔らかさと相関関係にある事が確認できた。なお、図 6-(e) に薄板自身の減衰特性を示す。

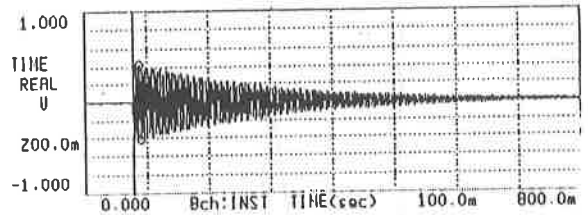


図 6-(a) No Cushioning

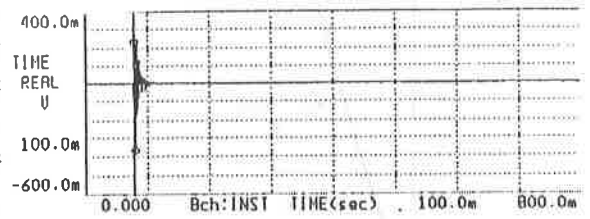


図 6-(b) Cushioning A

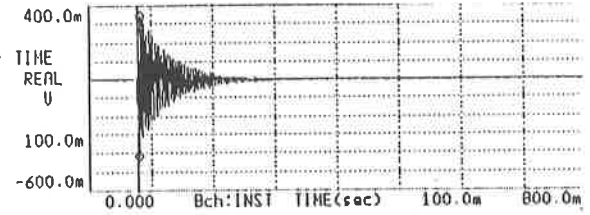


図 6-(c) Cushioning B

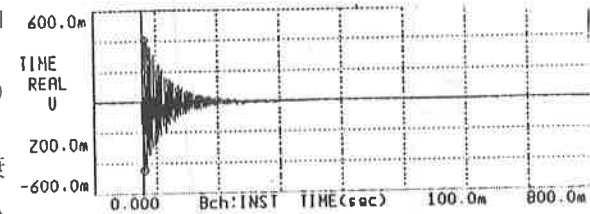


図 6-(d) Cushioning C

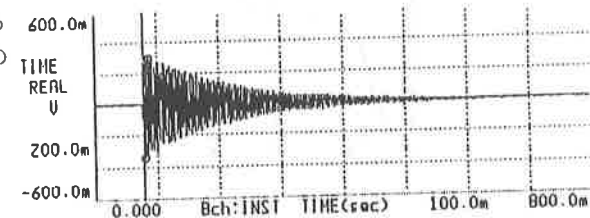


図 6-(e) Cushioning D

図 6 緩衝材の減衰特性

3-1-4 伝達特性について

緩衝材A~Dの伝達特性について図7に示す振動系を使用して実験を行った。

伝達特性として5Hz~100Hzの周波数範囲で一定振幅0.1mmで加振した時の各周波数における変位伝達率を求めた。緩衝材と重りの接触面積は100cm<sup>2</sup>、緩衝材の厚さは2cmである。重りを4段階に変化させて試験を行った。

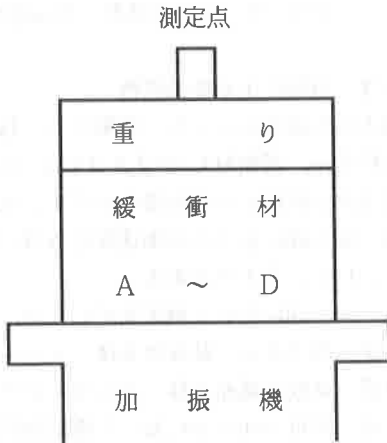


図7 振動系

図8より、圧縮応力6.8g/cm<sup>2</sup>においては、変位伝達率の最大値を示す共振周波数値は、緩衝材が柔らかくなるにしたがって低い値を示し、T dの最大値は、柔らかくなるにしたがって大きな値を示した。

圧縮応力20.5g/cm<sup>2</sup>においては、緩衝材A~Dのそれぞれにおいて、変位伝達率の最大値を示す共振周波数値は、より低い周波数に移動した。

図9に圧縮応力と共振周波数の関係を示す。

特に緩衝材Cの場合変位伝達率の最大値を示す共振周波数値は、圧縮応力が高くなるに従い低い値に移動した。

また、前述図5の応力-変形量曲線より明らかのように、圧縮応力20.5g/cm<sup>2</sup>時点での緩衝材Cの変形量は7.5mm(62.5%)で圧縮による変形量は70%~50%の範囲であるが、緩衝材Dの変形量は13mm(35%)で他の緩衝材に比べ変形量が多くなっていた。

なお今回の供試体の重量は9.5kgで緩衝材と

の接触面積は1720cm<sup>2</sup>であるから緩衝材に供試体を乗せた場合、緩衝材が受ける圧縮応力は約5.5g/cm<sup>2</sup>となる。

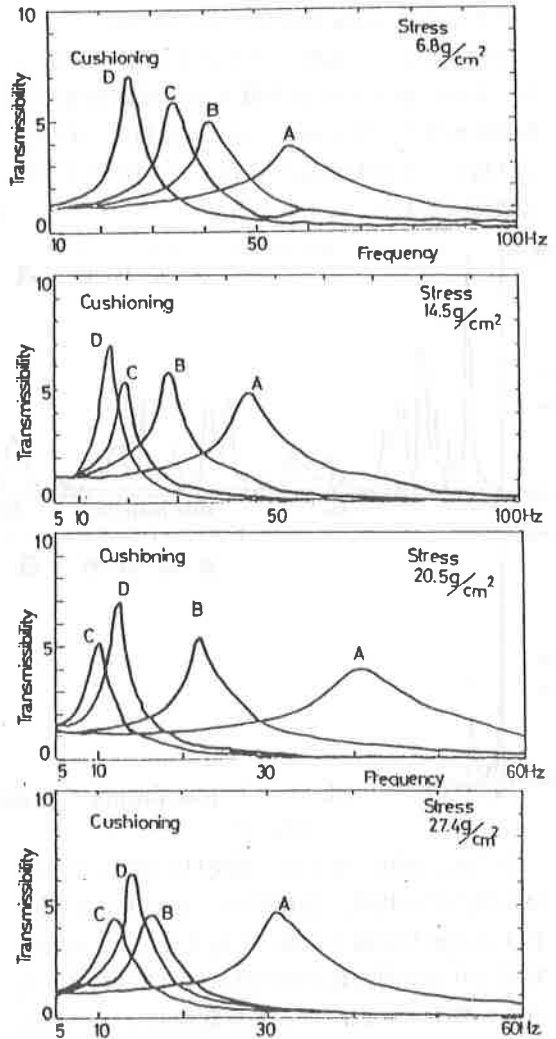


図8 変位伝達率

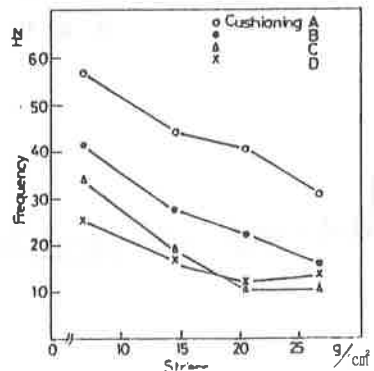


図9 圧縮応力と共振周波数

### 3-2 掃引周波数と共振特性

図10-(a)に緩衝材で包装されていない供試体bに緩衝材Dで包装した供試体の振幅特性及び共振特性を示す。(測定箇所は、表1のG部)

図10-(a)より、振動レベルが加速度一定0.1 Gであるため1000Hzを越える周波数領域では振幅値が著しく低くなり、また共振特性においては共振ピークが特に鋭いのは1000Hz以下の周波数範囲であることがわかる。

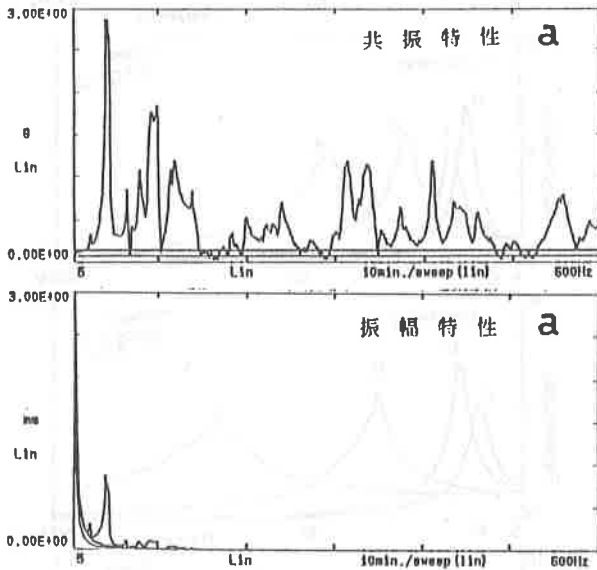


図10-(a)

さらに、図10-(b)より、緩衝材で包装した供試体の場合共振特性、振幅特性ともに1000Hzを越える周波数領域では著しく低下した。これらの結果より掃引周波数が特に供試体の共振特性に大きく影響すると思われる周波数範囲は1000Hz未満と考えられる。

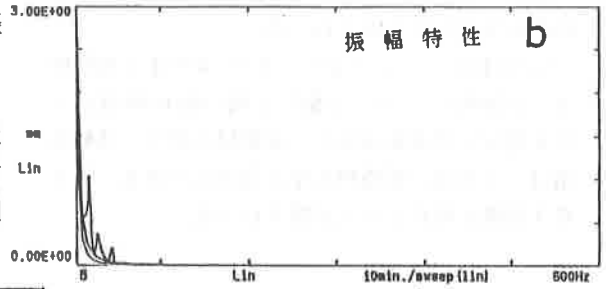
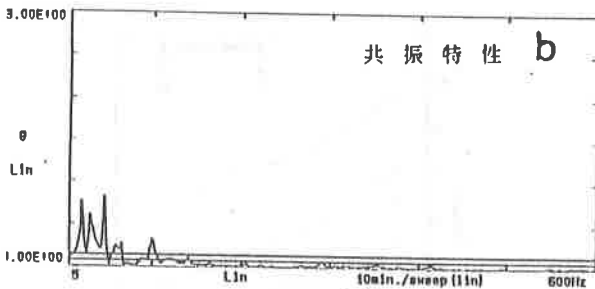


図10-(b) 掃引周波数と共振特性

### 3-3 包装による防振特性

試験方法を図2に示した。緩衝材A, B, Dの厚さは約3 cm, 緩衝材Cの厚さは約2.5 cmである。供試体は紐により加振機への固定した。

図11-(a)~(d)に示される加速度応答は、測定箇所G4, D7, I19である。

図11-(a)~(d)において測定箇所G4は、基板のコネクター部である。基板は本体フレームに設けられた溝に基板両端面を挿入する事により固定されている。図11-(a)~(d)において測定箇所D7は、5枚の基板を積み重ねた複数基板の一番上の基板のコネクター部分で5枚の基板は底板へ2箇所のネジ止めにより片持ちで固定されている。図11-(a)~(d)において測定箇所I19は底板の端面付近である。

図11-(a)~(d)において緩衝材で包装されていない供試体の共振特性は、それぞれ点線で示されるが、各測定点で以下のような加速度応答を得た。

図11-(a)~(d)においてG4部では0.1 Gの加速度入力に対して約2.7倍の加速度応答を50 Hz付近の共振周波数で示した。図11-(a)~(d)においてD7部では、0.1 Gの加速度入力に対して約1.7倍の加速度応答を20 Hz付近の共振周波数で示した。図11-(a)~(d)においてI19部では、0.1 Gの加速度入力に対して約1.5倍の加速度応答を20 Hz付近の共振周波数で示した。

次に緩衝材で包装後の加速度応答の変化を以下に示す。(図11-(a)~(d)に実線で示す。)

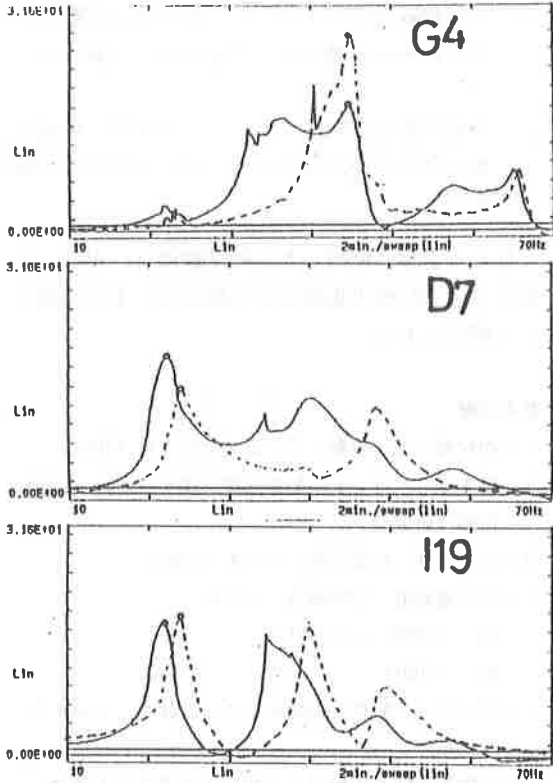


図11-(a) 緩衝材Aによる加速度応答

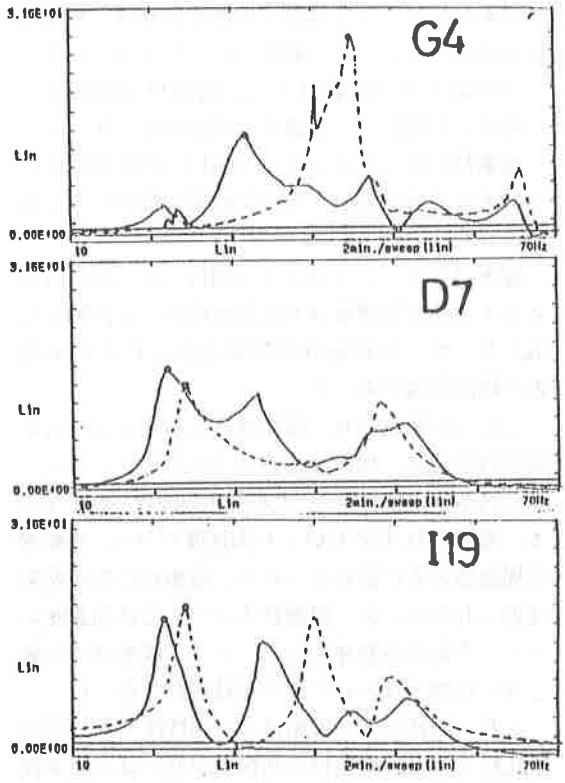


図11-(c) 緩衝材Cによる加速度応答

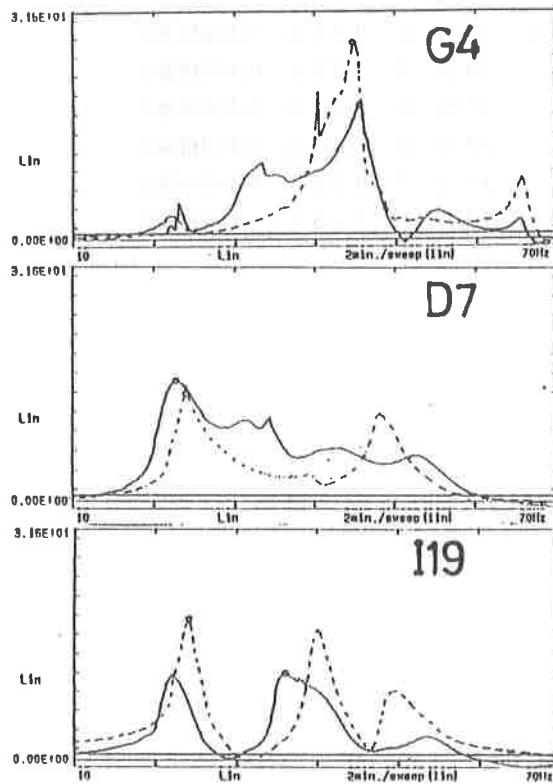


図11-(b) 緩衝材Bによる加速度応答

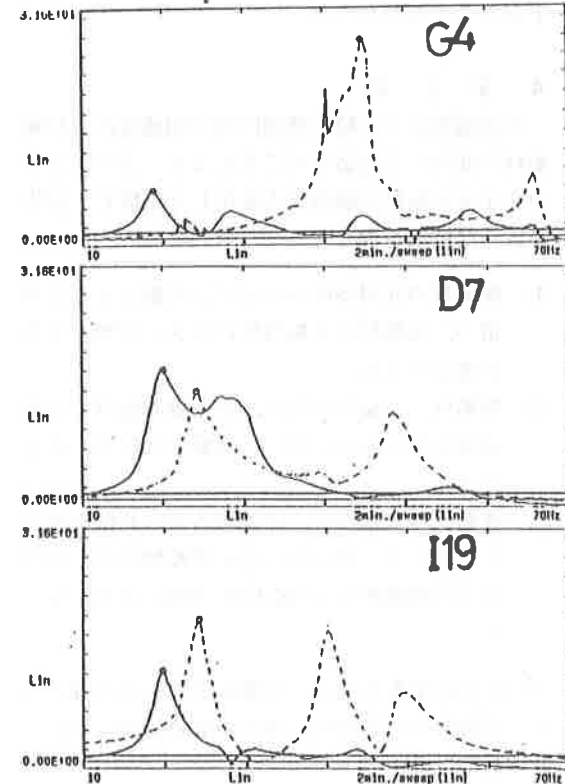


図11-(d) 緩衝材Dによる加速度応答



緩衝材Bについては最大加速度応答値、共振発生周波数ともに大きな変化は見られなかったが、50 Hz以上の周波数域では、緩衝材で包装しない場合と比較して、加速度応答値が低くなった。

緩衝材CについてはG4（図11-(c)）部において最大加速度応答値、及び共振周波数がともに低くなった。

緩衝材DについてはG4（図11-(d)）部において最大加速応答値及び共振周波数がともに著しく低くなった。各共振点は各測定点とも20 Hz付近の周波数域であった。

これらの結果より、緩衝材Dにおいては、広い周波数領域で、加速度応答レベルが小さくなり、また各測定点において、共振発生周波数が低くなった。緩衝材B、Cにおいても加速度レベル、共振発生周波数ともに低くなったが、緩衝材D程の効果は得られなかった。緩衝材Aについては加速度レベル、共振周波数発生点について、緩衝材で包装しない状態とほとんど変化が見られなかった。

これらの結果と、緩衝材の伝達特性（図9参照）を比較すると、緩衝材の共振点が低いほど周波数範囲で、供試体の加速度応答の最大値、共振点が下がることがわかった。

#### 4. ま と め

外部振動による精密機器内部の加速度応答が緩衝材を使用して包装することにより、どのように変化するか振動試験機等を使用して試験し、以下のような結果を得た。

- (1) 緩衝材の使用条件のなかで、圧縮による変形量が、緩衝材の共振特性に大きく影響する事が確認できた。
- (2) 緩衝材で包装した場合、ある周波数以上で加速度応答レベルが著しく軽減される事が確認できた。
- (3) 緩衝材の共振点が、供試体各部の共振周波数に比較して、低いほど広い周波数範囲で、供試体の加速度応答の最大値、共振点が低くなった。

以上の結果をもとに、今後以下に示す内容について試験を行い各種精密機器の故障解析について試験して行く。

- (1) 地域幹線道路を走行して、車両及び貨物が、受ける外部振動のデータ収集および解析を行う。
- (2) 各種緩衝材の特性について、より多くの種類および各種使用条件について、緩衝特性試験を行う。

なお本実験に使用した振動試験機は、平成3年度日本小型自動車振興協会の補助金により設備された備品である。

#### 参考文献

- 1) 西村源六郎：振動工学，誠文堂新光社（1969）
- 2) 藤本淳二：ランダム振動試験に関する研究（1991）信頼性研究会
- 3) 毛利博他：包装研究 vol.4（1983）
- 4) 寺岸義春他：包装研究 vol.9  
No.1（1988），vol.11  
No.2（1991）
- 5) 北村恒二：騒音と振動のシステム計測，コロナ社（1976）
- 6) 戸塚春彦他：防振ゴム，(株)日本鉄道車両工業会（1973）
- 7) J I S C 0 0 4 0，日本規格協会  
J I S Z 0 2 3 2，日本規格協会  
J I S K 6 3 8 6，日本規格協会  
J I S K 6 3 8 5，日本規格協会  
J I S Z 0 2 3 2，日本規格協会  
J I S Z 1 5 3 6，日本規格協会