特集／機械防振における各種防振材料の特性と使い方

防 振 ゴ ム

小 牧 賢 司*

機械防振における防振ゴムは、昭和35年頃から、使用されるようになったが、実際には公害対策基本法が制定された昭和42年以降である。現在、防振材料として産業機械に大量に使用されている防振ゴムについてその特徴と使用例について述べる。

1. 防振ゴムの種類と特徴

防振ゴムの種類には図-1に示したように、圧縮型、剪断型、複合型がある。その型式によって、ばね定数比 k_z/k_x が表1のように違ってくる。

防振ゴムの特徴は

- (1) 形状を自由に選べるので、上下、前後、左右のばね定数を変えられる。(表1参照)

表1 防振ゴムのばね定数比 (k_z/k_x)

形 状	ばね定数比 k_z/k_x
圧 縮 型	4.5 以上 (4.5 ~ 15)
剪 断 型	0.2 以下
複 合 型	0.2 ~ 4.5

k_z, k_x はそれぞれ上下、水平方向のばね定数を表わす。

- (2) ゴムは金属バネに比して内部摩擦が大きく、共振時の振巾がある程度おさえられると同時に、サージング現象がほとんどない。
- (3) ゴムと金属とを容易に接着することができるので、取付が簡単である。又ゴムと金属の音響抵抗が非常に異なるため、固体音の透過を防げる。
- (4) 小型、軽量で安価である。

以上の長所の反面、温度、油、オゾンなどの影響による劣化があるが、ゴム材料の選定により避けられる。

防振ゴムの材料特性を表2に示す。

防振ゴムの力学的性質は

図-1 防振ゴムの種類

* 高砂ゴム工業㈱ Kenji KOMAKI

表2 防振ゴムの材料特性

ゴムの種類	略号	特 性	温度範囲
天然ゴム	NR	ゴム弾性, 低温特性	-30~60℃
ポリクロロ プレン (ネ オプレン)	CR	耐候性, 耐熱性, 若 干の耐油性	-20~80℃
ニトリルゴム	NBR	耐油性, 耐熱性	-10~80℃
ブチルゴム	IIR	耐熱性, 減衰性能	-10~80℃
シリコンゴム	Q	超耐熱性, 超耐寒性	-40~130℃
エチレン プロピレンゴム	EPT	耐熱性, 耐候性	-20~80℃

表3 ゴム硬度と弾性率および動的係数の関係

H	E kg/cm ²	G kg/cm ²	d
40	18.5	4.6	1.1
45	21.8	5.7	1.15
50	25.7	7.1	1.2
55	30.4	8.8	1.28
60	36.0	11.1	1.4

(1) かたさ

ゴムのかたさは通常 JIS スプリング硬度計 (A 形) で測ったかたさをもって, ゴム弾性を表示する. ゴム硬度と弾性率の関係は表3に示す.

(2) ばね定数

ゴム弾性はゴムのかたさの他に正確にはばね定数をもって表す.

防振ゴムのばね定数は簡単な形状については次式で求められる.

$$k_{\perp} = \frac{A_L \mu}{H} E \quad k_{\parallel} = \frac{A_L G}{H}$$

ただし $k_{\perp}$: 上下方向のばね定数 (静的)

$k_{\parallel}$: 水平方向の " (")

A_L : 受圧面積 丸型 πr^2 角型 $A \cdot B$

A_F : 自由面積 丸型 $2\pi H$
角型 $2(A+B)H$

S : 形状率 $S = A_L / A_F$

μ : 形状係数

丸型 $\mu = 1.2 (1 + 1.65 S^2)$ 角型 $\mu = 1.2 (1 + 2.22 S^2)$

E : 圧縮弾性率

G : 剪断 "

防振ゴムが振動ひずみを受けるとばね定数は静的から動的に変化しその弾性率の比を動的係数 d をもって表す, その値は表3に示す.

$$k = d \cdot k_2 \quad k : \text{動的ばね定数}$$

(3) 非圧縮性

ゴムは水と同様に非圧縮性であり, ポアソン比は

表4 材質と力学的損失係数の関係

材 質	ϵ
N R	0.05 ~ 0.15
C R	0.15 ~ 0.3
N B R	0.25 ~ 0.4

約 0.5 で, $E \div 3G$ の関係にある.

(4) 減衰性

減衰性を表わす量として, 力学的損失係数 ϵ が表4に示す. なお共振倍率は $1/\epsilon$ で与えられる.

(5) 防振ゴムの許容限度

防振ゴムの許容タワミは, ゴムの厚みに対して次の値を許容限度と考える.

静的荷重に対して {	圧縮タワミ	15%以内
	剪断タワミ	25%以内
動的荷重に対して {	圧縮タワミ	5%以内
	剪断タワミ	8%以内

許容応力としては,

$$\text{圧縮に対して} \quad \sigma = 15 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{剪断に対して} \quad s = 3 \text{ kg/cm}^2$$

許容タワミ, 応力ともにおさえるといよい.

ゴムと金属の接着力は接着面積や形状によって異なるが, 一般に引張力で $20 \sim 50 \text{ kg/cm}^2$ である.

なお, 防振ゴムの永久ひずみは材質応力によって異なるが, タワミ量の $20 \sim 40\%$ 程度と見込まれる.

2. 防振ゴムの使用例

一般に機械の振動の方向は, X, Y, Z 方向と X, Y, Z 軸回りの6方向がある.

振動絶縁の定石は, 主要方向の振動に対して $\omega / \omega_n = f / f_n = 2 \sim 4$, 他の方向に対しても少くとも $\omega / \omega_n \geq \sqrt{2}$ にする必要がある.

図-2 座標軸と方向記号
(Gは機械の全重心)

たとえば、強制振動数が700 CPM 以上であるとすれば、Z 方向の固有振動数を 300 ～ 400 CPM にすれば、大約防振の目的は達成することができる。従って、加振力が大きい場合とか強制振動数が小さい場合とか、重心の高い等の場合には、6 方向の固有振動数を計算し、共振の有無を調べて、機械振巾を計算しこれが異常に大きくないことを確認した方がよい。一般的な注意事項として機械の重心は極力下げて、各機器は剛な共通台床に固定し共通台床を介して防振支持する、防振ゴム上の機械より出る配管、配線類はすべて可撓性を与える必要がある。

ここでは 2 ～ 3 の実施例をあげる。

(1) 空気圧縮機

①主要諸元

名 称	仕 様	回転数	重量 kg	加振力
圧 縮 機	V 型 2 筒	590 ^{RPM}	3,850	1 次上下 100 kg
電 動 機		1,000 ^{RPM}	1,120	2 次上下 550 kg
共通台床			5,810	
			10,780 kg	

②重心、慣性能率、質量

共通ベースを含めた寸法、および全体の重心は図-3による。各軸回りの慣性能率は

$$I_x = 45,350 \text{ kg} \cdot \text{cm} \cdot \text{sec}^2 \quad I_r = 117,400 \text{ kg} \cdot \text{cm} \cdot \text{sec}^2$$

$$I_z = 10180 \text{ kg} \cdot \text{cm} \cdot \text{sec}^2 \quad \text{質量 } M = 11.0 \text{ kg} \cdot \text{sec}^2$$

③防振ゴム

リングダンパー RDB 44 12 個使用

④配置

2 面对称を満足させるため図-4のように配置した。

⑤固有振動数

$$f_{33} = 200 \text{ CPM} \quad f_{66} = 100 \text{ CPM} \quad 1f_{15} = 174 \text{ CPM}$$

$$2f_{15} = 86 \text{ CPM} \quad 1f_{24} = 212 \text{ CPM} \quad 2f_{24} = 82 \text{ CPM}$$

写真1 空気圧縮機

図-4 防振ゴムの配置

図-3 空気圧縮機の寸法および重心

図-5 リングダンパー RDB 44

但し $f_n = \frac{60}{2\pi} \sqrt{\frac{K_n}{M}}$ で求まる f_{15} , f_{24} は水平方向.

$2f_{15}$, $2f_{24}$ はピッチング, ローリングの固有振動数を表す.

⑥機械の振巾

上下方向の機械振巾 a_z は

$$a_z = \frac{F_z}{M\omega^2 \left(\frac{\omega_{33}^2}{\omega^2} - 1 \right)} = \frac{100}{11 \times 3816 \frac{436}{3816} - 1} = 27 \times 10^{-4} \text{ cm}$$

水平方向の振巾 a_x は $a_x = 33 \times 10^{-4} \text{ cm}$ であり次式より求めた.

$$a_x = \frac{1}{\Delta} \left\{ \frac{F_x}{M} (-\omega^2 + \omega_{55}^2) - \frac{N_y}{I_y} \frac{K_{15}}{M} \right\}$$

$$\Delta = (-\omega^2 + \omega_n^2) (-\omega^2 + \omega_{55}^2) - \omega_{15}^4$$

但し $\omega_n = 2\pi f_n$ である.

⑦防振判定

基礎に伝わる力は〔伝達率〕×〔加振力〕より求めても良いが、今回は防振ゴムの動変位から求めた.

$$F = K \cdot \sigma = 4800 \times 45 \times 10^{-4} = 21.6 \text{ kg}$$

ゴム1ヶ当りについては1.8 kgであり良好と判断した.

⑧防振効果

基礎に伝わる振動は振巾で1 μ 以下で人体無感であり、良好であった. 機械振巾についても、計算値に近い振巾値を示し、非常に良好であった.

(2) ディーゼル発電機

①主要諸元

名 称	回 転 数	重 量 kg	仕 様
エンジン	1,500 ^{RPM}	1,539	5 気筒
発 電 機	1,500 ^{RPM}	725	
共通台床		1,340	
		3,604 kg

図-6 ディーゼル発電機の重心およびゴムの配置

不釣合

トルク変動	2 1/2 次	14,700 kg・cm
往復質量慣性力	1 次	6,075 kg・cm
"	2 次	47,250 kg・cm

②重心, 慣性能率, 質量, 防振ゴムの配置

重心, 配置は図-6による.

慣性能率は $I_x = 5,312 \text{ kg cm sec}^2$ $I_y = 29,067 \text{ kg cm sec}^2$

$I_z = 24,790 \text{ kg cm sec}^2$ 質量 $M = 3.67 \text{ kg sec}^2 / \text{cm}$

③防振ゴム

固有振動数を450 ^{CPM}と仮定して全ばね定数 $K_{33} = 8,250 \text{ kg/cm}$ 10ヶで支持すれば1個当りの動的ばね定数 k_p は $k_p = 825 \text{ kg/cm}$ これより図-7に示す防振ゴムを選んだ. ゴム中の金具は, 地震時のストッパーを目的としている.

④固有振動数

$$f_{33} = 450 \text{ CPM} \quad f_{66} = 226 \text{ CPM} \quad f_{15} = 190 \text{ CPM}$$

$$2f_{15} = 445 \text{ CPM} \quad 1f_{24} = 185 \text{ CPM} \quad 2f_{24} = 528 \text{ CPM}$$

⑤伝達率

トルク変動による $1500 \text{ RPM} \times 2 \frac{1}{2} \text{ 次} = 3,750 \text{ CPM}$ のクランク軸まわりの加振偶力を考えればよい.

$$\text{伝達率} \quad \tau = \frac{100}{1 - \left(\frac{3750}{528} \right)^2} = 2\% \dots \dots \text{良好}$$

その他1次の加振偶力があるので、これに対しては

$$\tau = \frac{100}{1 - \frac{1500}{445}} = 10\% \dots \dots \text{良好}$$

⑥結果

試運転の結果非常に良好であった.

(3) 破砕機

図-7 防振ゴム

写真2 破 碎 機

写真3 射出成形機

①主要諸元

名 称	重 量	回 転 数	不釣合力
破碎機本体	82,500 ^{kg}	710 ^{RPM}	5,240 ^{kg} (推定)
そ の 他	22,500		
共 通 台 床	10,000		
	115,000 ^{kg}		

②慣性能率、質量

$$I_X = 2,153,900 \text{ kg cm sec}^2 \quad I_Y = 3,537,000 \text{ kg cm sec}^2$$

$$I_Z = 3,231,400 \text{ kg cm sec}^2$$

$$\text{質量} M = 117.35 \text{ kg sec}^2/\text{cm}$$

③防振ゴム

寸法 $380 \phi \times 120 \phi \times 261 \text{H}$ 12 ケ使用 図-8に形状を示す。

④固有振動数

$$f_{33} = 200 \text{ CPM} \quad f_{66} = 101 \text{ CPM}$$

$$1f_{15} = 62 \text{ CPM} \quad 2f_{15} = 221 \text{ CPM}$$

$$1f_{24} = 62 \text{ CPM} \quad 2f_{24} = 283 \text{ CPM}$$

⑤伝達率 (710 CPMに対して)

$$\tau_{33} = 9 \%$$

図-8 防振ゴム

⑥測定結果

公害基準以下におさまり良好であった。

但し、加振力大の為、機器の振巾は大きい。

小さくするには、オイルダンパー併用が良いと思われる。

(4) 射出成形機

①主要諸元

$$440 \text{ TON} \text{ 能力射出成形機 総重量 } 29 \text{ TON}$$

②防振ゴム

リングダンパー RDB41 30ケ使用

③固有振動数

$$f_{33} = 380 \text{ CPM} \quad f_{11} = 170 \text{ CPM}$$

但し、 f_{11} : 水平方向の固有振動数

④効果

射出成形機は横方向の加振力が大きく、この方向の固有振動数の低い防振ゴムを使用すれば良い。RDB41を使用して、隣家への影響は無くなり、夜間でも使用出来るようになった。

3. あとがき

公害問題がおきてからの防振対策は最近ほとんどなく、あらかじめ、機器の設計時におこまれるようになった。広く認識されてきたものと思われる。

今回、ゴムの特性及び防振ゴムの使用例について記述しましたが、細かい説明ができなく非常に残念ですが、なんらかの参考となれば幸いです。

参 考 規 格

- 1) 防振ゴム材料 JIS K 6386
- 2) 自動車用ゴム材料 JIS K 6403
- 3) 鉄道車輛用防振ゴム通則 JIS E 4710
- 4) 防振ゴムの試験方法 JIS K 6385