

空気バネ利用振動防止装置の開発

開発技術部：松下 博

企画普及室：上原政美

音研工業(株)：金沢敏彦*

1. はじめに

生活環境の向上とともに騒音や振動に対する関心は、一層高まってきている。織機的高速化・電子化が進んだものの、織機は依然として振動を発生する機械である。織布業は、一般に小規模工場が多く、家屋の隣接する狭い敷地内で織機が稼動するため振動の距離による減衰があまり期待できない。このため振動防止対策としては、必然的に振動源対策が主体となる。

振動防止対策としては、織機の加振力を伝え難くする弾性体支持方法が有効であるが、織機の場合は「ゆれ」を小さくする必要がある。しかも防振装置としては、設置工事が簡単で設置後の保守もいらず、手間のかからないことも大きな要素である。こうした点を考慮して振動防止装置を開発した。

2. 開発の基本的要件

2.1 織機振動の実態

織機から発生する振動は、次のような特徴をもっている。

- (1) 振動の方向が、上下・前後・左右とあらゆる方向に発生する。
- (2) 定常振動に加えて衝撃振動が合成されている。
- (3) 機械の重量の割に加振力が多い。
- (4) 稼動中に重心の移動がある。

この原因は、織機の運動が単なる回転運動のみでなく、箄打ちという特殊な前後運動があるためです。これに加えて重量分布が一様でなく織物が

織進められるにしたがって重心も移動することなどにもよります。

これらの要素を考慮すると一般機械より織機のほうが防振対策は困難であるといえます。

織機の振動は織機の種類や回転数によって異なる。さらに振動の伝搬は地盤に大きく左右されるため一概には言えないが測定値の1例を表1に示す。

表1 織機の振動レベル

織機種類	回転数 (rpm)	測定値 (dB)
綿力織機	180	73-75
毛力織機	130	68-73
ビバ織機	230	68-72
自動織機	180	71-77
エアジェット	400	68-70

愛知県公害防止条例では振動の規制基準は、最も厳しい住宅専用地域での夜間（午後8時から午後7時まで）の規制値は55dBである。従って、防振装置としては、これをクリアする事が第一条件となる。55dBとは実感的には、気象庁の震度階の震度1に相当し人体には感じないで地震計に記録される程度の振動である。

2.3 織機の「ゆれ」

弾性支持すると機械の慣性力により機械に「ゆれ」を生じるが、織機の場合「ゆれ」が大きくなると織物の品質などに影響がでる懸念がある。

「ゆれ」を止めるにはイナーシャブロックにより弾性支持体の重量を増し、慣性モーメントを大きくする方法や制振器（アブソーバー）を取り付

* 音研工業(株)と当センターとが共同で、装置の開発を行いました。

ける方法などがある。

エアージェット織機（回転数530rpm）をコイルバネで弾性支持したときの織機本体の変位（ゆれ）の状況変化を表2に示す。

表2 織機の「ゆれ」の測定例

	方向	レグス (mm)	フレーム (mm)	振動レベル (dB)
固定据付	X	0.02	0.05	73
	Y	0.02	0.06	
	Z	0.05		
弾性支持 (2.6Hz)	X	0.31	0.14	55
	Y	0.48	0.24	
	Z	0.40	0.54	
弾性支持 (5.0Hz)	X	0.40	0.70	55
	Y	0.48	0.34	
	Z	0.36	0.36	

X：前後 Y：左右 Z：上下

本試験の結果では、弾性支持したときの織機本体の変位（ゆれ）は固定支持の時より大きくなるが実用上全く問題にならない値であることが確認されている。

織機の「ゆれ」に対しては法規制はないが上記の試験や文献によれば0.5mm（片側振幅）以下ならば問題ないとされている。

2.4 弾性支持体の選定

防振装置は、普通防振しようとする機械と基礎の間に弾性体を用いて支持する方法が採られます。防振装置に用いられる弾性体としては、金属バネでは重ね板バネ、コイルバネ、皿バネなどが

あり、非金属のものでは空気バネ、防振ゴムなどがある。これらの特徴を表3に示す。

弾性支持の防振効果は、次式によって表される

$$T = \left| \frac{1}{1-u^2} \right| \quad u = \frac{f}{fn}$$

T：振動伝達率 u：振動数比

f：加振振動数 fn：固有振動数

振動伝達率（T）とは振動が伝わる率で、この値が小さいほど防振効果がある。即ち、 $T < 1$ にすればよい。即ち、振動数比を $\sqrt{2}$ 以上にする。一般的には $u = 2 \sim 3$ にする。振動伝達率を小さくするには振動数比を大きくする必要がある。

この関係を図1に示す。

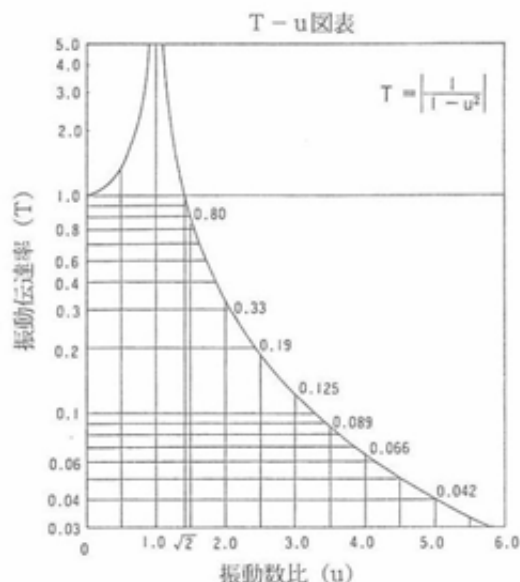


図1 振動伝達率（T）と振動数比（u）

表3 各種弾性体の特徴

項目	板バネ	コイルバネ	皿バネ	空気バネ	防振ゴム
負担できる荷重	大	中(大)	中(大)	中	小
固有振動数	中	低～中	低～中	低	高
振幅によるバネ常数の変化	中	なし	小～中	小	小
高周波振動の絶縁	△	△	△	○	○
横剛性	大	中	—	小	中(小)
減衰	大～小	無	大～小	小	中
スペース	大	中	小	大	中
重量	大	中	中	中	小

この関係を整理すると表4のようになる。

表4 振動数比と防振効果の関係

振動数比	振動伝達率	振動状態	防振効果
$u=0$	$T=1$	$f_n=f$	効果なし
$u=1$	$T=\infty$	$f_n < f$	共振
$u=\sqrt{2}$	$T=1$	$f_n=f$	効果なし
$u>\sqrt{2}$	$T<1$	$f_n>f$	効果あり

加振振動数 (f) は、織機の場合回転数によって定まり次式によって計算される。

$$f = \frac{\text{織機回転数 (rpm)}}{60}$$

従って、織機の回転数と加振振動数の関係は以下のようになる。

回転数	100	200	300	400	500	600	700	800
振動数	1.7	3.3	5.0	6.7	8.3	10	12	13

振動防止の効果は、機械の加振振動数とそれを支える支持体の固有振動数との比で決まるため固有振動数が小さいほど効果があるといえる。この点で空気バネに利点がある。

空気バネにはベローズ型とダイヤフラム型の2種類があるが、防振装置にはベローズ型が多く使われる。空気バネが他の弾性体より特に優れている点は、

- (a) バネ高さの調節が容易なこと
- (b) 耐荷力とバネ常数を互いに独立調整できることなどである。

空気バネ支持方式は、バネ常数を低く設定できるため優れた防振効果を持ち、荷重変化に対して一定の固有振動数を維持できるなどの特徴があることから本防振装置には空気バネ支持方式を採用することとした。

2.5 架台の重量

織機のように機械重量の割に加振力が大きい機械では「ゆれ」を押さえるために付加質量を加えることにより効果が期待できる。この場合の振動倍率は次式により計算される。

$$\frac{F_0}{K} = \frac{m}{m+m'} \left| \frac{F}{K} \right|$$

F_0 : 機械から発生する加振力

F : 機械から基礎に伝えられる加振力

m : 機械の質量 m' : 付加した質量

このことから同じ固有振動数のもので支持しても m' を付加することで機械の振幅を小さくすることが可能である。

4. 予備試験

4.1 空気バネによる防振テスト

空気バネを架台 (重量1,000kg) に組み込んだ装置をテストした。試験条件は以下のとおりである。

(1) 使用機械

種類 : エアージット (日産)

型式 : LA21

箆 巾 : 150cm

開 口 : ドビー (16枚)

回転数 : インバーターにより可変

なおこの織機はドビーを上部に搭載しているため左右のバランスは悪い。

(2) 織物規格

組織 : 平織

原 糸 : 経、緯とも綿100% 40/1'S

密 度 : 経118 緯50 (本/in)

箆 巾 : 50in (127cm)

(3) 測定方法

振動レベル (dB) と織機の「ゆれ」 (mm) について測定した。振動の測定はJIS Z 8735「振動レベル測定方法」によった。「ゆれ」の測定は、汎用振動計を用いた。この結果を表5に示す。

表5 空気バネによるテスト

織機回転数 (rpm)			250	300	350	400
振動 (dB)	防振前		58	60	63	65
	防振後		34	34	35	36
ゆれ (mm)	防振前	X	0.12	0.14	0.17	0.18
		Y	0.07	0.08	0.10	0.14
		Z	0.06	0.07	0.08	0.09
	防振後	X	0.36	0.29	0.50	0.42
		Y	0.72	0.56	1.00	0.84
		Z	0.16	0.37	0.78	0.56

4.2 アブソーバー

防振テストの結果、防振効果は極めて優れていたものの織機の「ゆれ」が発生した。このため「ゆれ」防止アブソーバーを装着できる架台を試作して実験を行った。なお、架台の重量による変化をみるために重量500kgf、1,000kgf、1,500kgfの三種を製作した。「ゆれ」防止アブソーバーとして表6の9種を選んだ。

4.3 評価試験

3種類の基礎架台と9種類の「ゆれ」止め装置の効果を評価するために実際の製織状態において試験した。試験条件は前と同じである。

4.4 振動レベルの解析

全般的な傾向を把握するために数量化Ⅰ類による解析を行った。その結果を表7に示す。

表7 振動レベルの解析

要 因	カテゴリー	スコア	範 囲	偏相関係数
架台重量 (kgf)	500	44.6	9.92	0.91
	1000	48.6		
	1500	54.5		
回転数 (rpm)	250	0.00	5.44	0.73
	300	2.39		
	350	3.46		
	400	5.44		
ア ブ ソ ー バ ー 種 類	1 ス/大	0.00	6.00	0.71
	2 ス/中	- 0.79		
	3 ス/小	1.17		
	4 ガ/大	3.75		
	5 ガ/中	2.46		
	6 ガ/小	4.33		
	7 油/大	1.71		
	8 油/小	2.04		
	9 ロッド	5.21		

この表からみると振動レベルは、架台重量及び織機回転数の増加とともに大きくなり、架台重量500kgと1,500kgとでは約10dBの差が生じる。回転数では250rpmと400rpmでは約5dB増える。

4.5 ゆれの解析

「ゆれ」についても同様な解析を行った。その結果を表8に示す。

表8 「ゆれ」の解析

要 因	カテゴリー	スコア	範 囲	偏相関係数
架台重量 (kgf)	500	0.40	0.10	0.55
	1000	0.31		
	1500	0.30		
回転数 (rpm)	250	0.00	0.05	0.39
	300	0.02		
	350	- 0.05		
	400	- 0.04		
ア ブ ソ ー バ ー 種 類	1 ス/大	- 0.00	0.13	0.45
	2 ス/中	- 0.03		
	3 ス/小	- 0.00		
	4 ガ/大	- 0.03		
	5 ガ/中	- 0.02		
	6 ガ/小	- 0.04		
	7 油/大	- 0.05		
	8 油/小	- 0.03		
	9 ロッド	- 0.13		

表6 テストしたアブソーバーの種類

番 号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
種 類	コイルバネ			ガス式アブソーバー			油圧式アブソーバー		ストッパー
略 号	ス/大	ス/中	ス/小	ガ/大	ガ/中	ガ/小	油/大	油/小	ロッド
仕 様	コイル数 6 外径 150 高さ 300 線径 15	コイル数 6 外径 150 高さ 260 線径 15	コイル数 6 外径 95 高さ 260 線径 10	カヤバ工業製自動車用ショックアブソーバー			KONI社（オレンジ）製ショックアブソーバー		

織機の「ゆれ」は振動レベルと全く正反対の結果を示している。このことは「ゆれ」を押さえようとすれば振動レベルが増えることを意味する。即ち、加振力を地面を伝わる振動として逃がすか、織機の「ゆれ」として逃がすかと言うことになる。

ある条件においては加振力は一定であるから、一方が減少すればもう一方は増大する。従って、この両者を制御しながら現場の状況に合わせていくのが現実的な方法であると思われる。

4.6 架台重量による変化

架台重量による変化は表9、図2に示すとおりである。

表9 架台重量による変化

架台重量 (kgf)	振動レベル (dB)	「ゆれ」 (mm)
500	49.6	0.35
1000	53.6	0.26
1500	59.5	0.24

架台重量が増せば、織機の「ゆれ」は減少するが振動レベルは増大する。

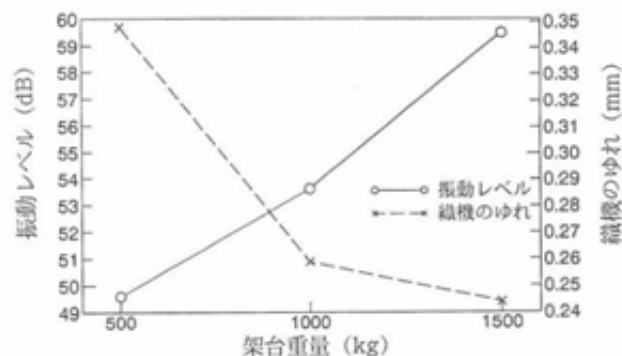


図2 架台重量による変化

4.7 織機回転数による変化

振動レベルは織機回転数の増加とともに増える傾向にあり「ゆれ」は減少する傾向にある。

表10 織機の回転数による変化

架台重量 (Kgf)	振動レベル (dB)	「ゆれ」 (mm)
250	51.4	0.30
300	53.8	0.33
350	53.3	0.31
400	56.9	0.26

4.8 アブソーバーの種類による変化

測定結果を表11及び図3に示す。

表11 アブソーバーによる変化

番号	種類	振動レベル (dB)	「ゆれ」 (mm)
1	ス/大	52.0	0.32
2	ス/中	51.3	0.29
3	ス/小	53.2	0.32
4	ガ/大	55.8	0.29
5	ガ/中	54.5	0.30
6	ガ/小	56.9	0.28
7	油/大	53.8	0.27
8	油/小	54.1	0.29
9	ロッド	57.3	0.19

この結果をみるとNo.1、2、3のスプリング系のものは、振動レベルの低減にはわけて有効であるが、織機の「ゆれ」は比較的大きい。No.4、5、6のガス式アブソーバー系は、振動レベル、「ゆれ」ともに中途半端な関係にある。No.9の従来の空気バネの内部にロッドを組み込んで強制的に「ゆれ」を止める方式は、振動レベルが高くなる危険性をはらんでおり適切ではない。No.7、8の油圧式のアブソーバーは振動レベル、「ゆれ」ともに押さえられ比較的良好な結果が得られた。

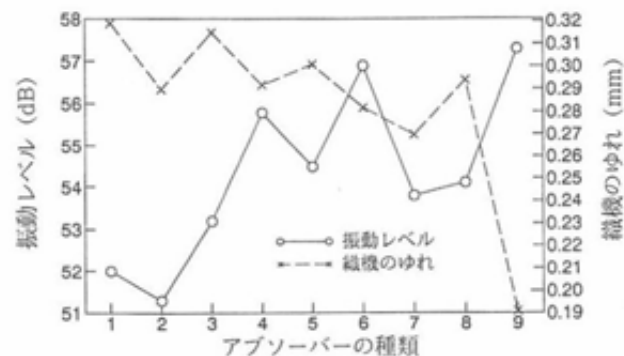


図3 アブソーバーによる変化

5. 装置の開発

5.1 アブソーバーの開発

予備試験の結果、空気バネは予想通り優れた防振効果を示した。又、「ゆれ」を押さえるために各種のアブソーバーを検討したところ油圧式が良好な結果を示した。しかし、予備試験で用いたアブソーバーは市販の物で、架台に外部から取り付けるようになっており、形状も大きなものであった。このため、「ゆれ」止めに効果が有り、架台の中に一体に組み込めるような小型の油圧式アブソーバーを開発した。

開発にあたっての条件は以下のようなものである。

- (1) 架台の中に納めるために寸法を $150 \times 150 \times 150\text{mm}$ 以下にすること。
- (2) 地面に直接接触しないこと。(敷板を付ける)
- (3) アブソーバーの取り付け位置は、空気バネと接したところにしブロック化する。
- (4) 振動抵抗を少なくするために織機取り付け板との接触面をできるだけ少なくする。
- (5) 「ゆれ」の状況に合わせて調整できるようクラ

ッキング圧を調節可能にする。

開発の過程において、随時作動テストを行いながら製作した。例えば、チェックバルブは当初固いスプリングを使用したため動きが悪かったがバネ定数を小さいものに代えたことなどである。

5.2 開発装置の概要

アブソーバーに一応の目途がついたので架台に空気バネと一体に組み込んだ防振装置を開発した。

本装置の概要は以下のとおりである。

サ イ ズ : H 164×W 1,350×L 2,700(mm)

総 重 量 : 1,450kgf

振 動 吸 収 体 : 空気バネ

ゆれ防止装置 : クラッキングアブソーバー(油圧式)

最 大 荷 重 : 8トンまで

操 作 : 不要(設置時に高さ、水平を調整する)

安 全 装 置 : 四隅にストッパーを配置

基 礎 工 事 : 不要

装置の全体図、部分図を以下(図4)に示す。

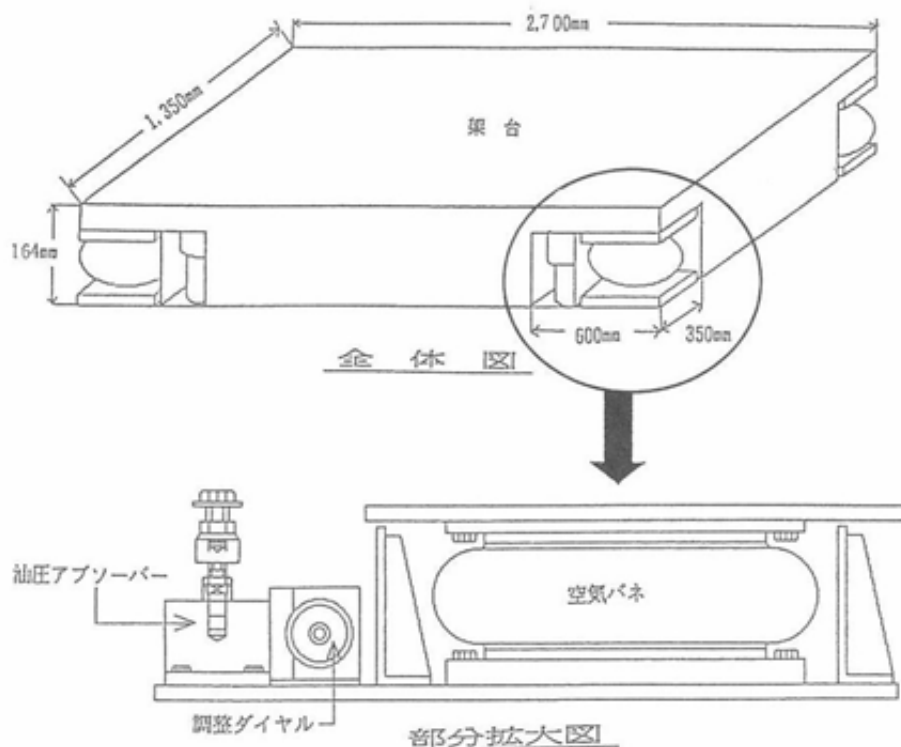


図4 全体図、部分拡大図

5.3 作動試験

開発した装置についての作動試験を行った。試験条件については予備試験と同じである。測定結果を表12、13、図5、6に示す。

表12 振動レベルの変化

	250	300	350	400
防振前 (dB)	58	60	63	65
防振後 (dB)	47	51	51	52
低減率 (%)	72	50	75	78

$$K = 100 \cdot \{1 - 10^{1/20 (XB - XA)}\}$$

K : 低減率 (%)

XA : 防振前の振動レベル (dB)

XB : 防振後の振動レベル (dB)

表13 「ゆれ」の変化

単位: mm

		250	300	350	400
防振前	X	0.07	0.08	0.10	0.14
	Y	0.12	0.04	0.10	0.14
	Z	0.07	0.08	0.08	0.09
防振後	X	0.46	0.42	0.29	0.25
	Y	0.44	0.41	0.32	0.28
	Z	0.16	0.23	0.12	0.16

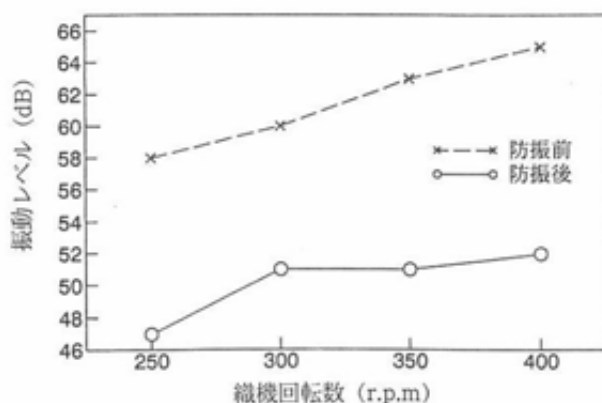


図5 振動レベルの変化

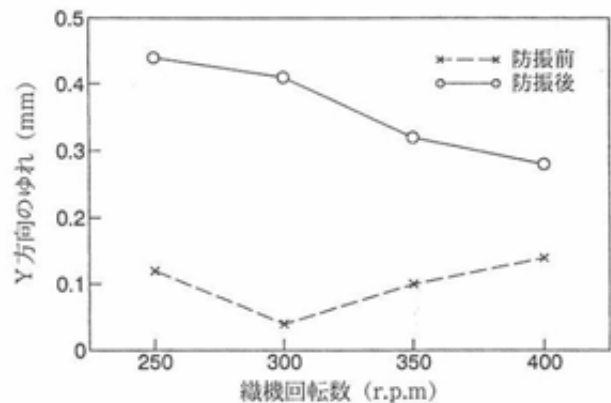


図6 Y方向のゆれの変化

6. まとめ

開発した振動防止装置の特徴は次のとおり。

- (1) 空気バネは固有振動数が低いため防振効果大きい。
- (2) 空気バネには多くの利点があるが、反面、機械に「ゆれ」を生じさせる。このため小型のアブソーバーを開発した。
- (3) 自動水平バランス装置を備えている。
織機は稼動中に重心が後ろから前へ移動する。これを放置すると織機が傾き「ゆれ」はより増大される。本装置では、空気バネの圧力を自動的に調整して常に水平を保つレベル調整機能を備えているため「ゆれ」の増幅を押さえることが出来る。
- (4) 空気バネとアブソーバー、配管などを架台の中に一体に組み込んだ。また防塵などのために全体がカバーされている。またアブソーバーも小型にして装置全体の高さを出来るだけ低くした。これにより設置工事が簡単になり、作業性も良くなった。
- (5) 空気バネにはしゅう動部分がないため厳しい振幅の振動でも比較的耐久性が優れ、給油の必要もなくメンテナンスが容易である。
- (6) 空気バネ、アブソーバーはそれぞれ部分的に調節できるため、現場の状況に合った状態に設定できる。この設定は設置時にするのみで、その後は殆ど必要がない。

なお本装置は「機械の支持方法及びそのための

架台」として音研工業（株）と共同で特許出願中
です。

謝 辞

最後に本装置の開発に多大のご協力をいただき
ました^{くましろ}神代鉄工（株）に対してお礼申し上げます。
