第 3 表 $r\theta/p$ の 極 値

r_0	0.6				0.8			
α_0	1°	2°	3°	4°	1°	2°	3°	4°
	-0.0122 (-106°)	-0.0245 (-106°)	-0.0368 (-106°)	-0.0492 (-106°)	-0.0188 (-98°)	-0.0406 (-98°)	-0.0609 (-98°)	-0.0806 (-98°)
	0.0121 (-74°)	0.0243 (-74°)	0.0368 (-74°)	0.0492 (-74°)	0.0188 (-82°)	0.0406 (-82°)	0.0609 (-82°)	0.0806 (-82°)
	-0.0125 (72°)	-0.0249 (72°)	-0.0378 (72°)	-0.0508 (72°)	-0.0205 (82°)	-0.0411 (82°)	-0.0620 (81°)	-0.0830 (81°)
	0.0121 (106°)	0.0238 (106°)	0.0364 (106°)	0.0472 (106°)	0.0200 (97°)	0.0399 (97°)	0.0592 (96°)	0.0782 (96°)

られる圧延条件は接触角 4° 附近であるから、ここでも α_0 を 4° 以下としたが、この場合に $\cos \alpha \approx 1$ として計算したときの相対誤差は 1.9×10^{-3} を越えない。なお $4^\circ \sim 6^\circ$ の接触角のときでも、やや精度は落ちるが、以上の式を適用することができる。

注：—

(1) 昭和 28 年 9 月 12 日 岐阜地方講演会において講演、原稿受付 昭和 28 年 12 月 28 日。

(2) 正員、浪速大学工学部。

(3) たとえば、Timoshenko, Theory of Elasticity, 1st. ed. pp. 108 (1933).

Love, The Mathematical Theory of Elasticity, 4th. ed. pp. 210 (1934).

(4) L. R. Underwood, The Rolling of Metals, Vol. 1. pp. 238 (1950).

(5) 応力の記号は Love, The Mathematical Theory of Elasticity による。

629.115.3.012.856 : 621—272.6

自動三輪車用組合せ型防振ゴムの特性について⁽¹⁾

西原利夫⁽²⁾ 榎木義一⁽³⁾ 関口久美⁽⁴⁾

On the Characteristics of Built-up-type Rubber Vibration Isolator for Auto-tricycle

by Toshio NISHIHARA, Yoshikazu SAWARAGI and Hisayoshi SEKIGUCHI

In built-up-type rubber vibration isolator, it is well known that the characteristics depend on initial compression, load and exciting force. We have studied the characteristics by varying not only the said three conditions, but also the hardness, using the same form as is now used practically for automobile.

The technical points found by this research are as follows: First, the damping coefficient is decided with initial compression and load. Secondly, the larger the exciting force becomes, the larger the coefficient grows. Thirdly, the stiffness depends on initial compression and hardness.

組合せ型防振ゴムは接着型と違って締付けないで使えず使うに当たっても主として圧縮方向に振動するように組合せなければ使い難い。これは大きな欠点であるが締付け方によってその特性を大きく変えられる長所がある。それで実際に使うに当たってその締付け量によってどのように性質が変わり、荷重、加振力、かたさの変化といかなる関連を持っているかということを実際に三輪自動車の発動機架に使われているゴムについて実験的に調べた結果として、締付け量を増すことは荷重を減

じかたさを増すのとよく似た効果を持っていることを知った。

1. 資料と実験方法

本研究に使用した防振ゴムは第 1 図に示す形状のもので、そのかたさ言いかえると成分は第 1 表よりわかる 4 種類を使った。このゴムは実際の三輪自動車で補機類を含めて約 100 kg の発動機を 4 点で支持するもので、1 点平均約 25 kg の重さがかかっている。実験

装置を描いた第2図よりわかるように大きいゴムは発動機架の上に置き、その上に発動機が載せられて圧縮状態になる。実際にはこのゴムの外側に金属製の筒がはめられていて水平方向の変位もこのゴムの胴部の筒への圧縮によってささえている。小さい方のゴムは発動機架の下部にあって発動機の飛び上りをささえている。しかし本研究において

第 1 図

第 1 表

かたさ 配合 Duro No.	25	30	35	43
FAQ (No. 3)	100	100	100	100
硫 黄	2.5	2.5	2.5	2.5
亜 鉛 華	10	10	10	10
ステアリン酸	1.5	1.5	1.5	1.5
促進剤 (DM)	0.4	0.4	0.4	1
炭酸カルシウム	2	2	2	2
カーボン	1	1	1	22
黒ファクセス	10	5	—	—
パイントール	10	5	—	—
合 計	137.4	127.4	117.4	139.5

は軸方向、つまり上下方向のみを考えて金属の筒を使用していない。荷重は軸の下端にとりつけ、34.31 kg, 27.31 kg, 20.24 kg とし、その下につけたばねを通じて直流モータにつけた偏心によって加える加振力は 4.55 kg, 3.33 kg, 2.12 kg, 0.91 kg の 4 種類とした。ゴムの締付量は上下のゴムを一緒にしてその軸方向の長さの 20%, 25%, 30% とした。荷重をかける前の締付のみによる上下のゴムのたわみ量はそれぞれその無荷重時の長さに比例している。この 4 種類のゴムに

第 2 図

において真中に金属板を挟んで圧縮試験をした結果が第3図で従来のようにこのループの骨を考えるとこのゴムの各締付時の締付圧力が求まり、荷重および加振用ばねの引張力も考えれば上下のゴムの応力も求

められる。

第 3 図

2. 共振曲線

いろいろな条件を変えて共振曲線をとってみる。加振力のみを変えた例が第4図であって、これは Duro No. 25 のもので振幅も大きく跳躍現象も明瞭に見られるが他の成分のゴムにも全く同じ傾向である。荷

第 4 図

第 5 図

第 6 図

第 7 図

重のみを変えると第5図に示すように共振振動数, 共振振幅いずれも顕著に変化する. ゴムのかたさが変わった場合も第6図に示すように変り, 締付量を変えると第7図に示すような変化を示す. これより荷重の減少と かたさ の増加とが同様の变化をもたらすことがわかる. それで Duro No. 25 のゴムにおいて締付量を 25% として荷重および加振力を変えて共振点を示したのが第8図で, 同じゴムにて荷重を 34.31kgとして締付量と加振力をいろいろにとった時の共振点を図示したものが第9図である. 以上のように各種の条件を適当に調節することによって共振振動数および同振幅をある範囲内で変えることは可能である.

3. 減衰係数

防振ゴムの振動方程式を

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} + C \frac{dx}{dt} + kx = P_0 \sin \omega t \quad \dots\dots\dots (1)$$

ただし m : 質量, x : 変位, t : 時間

C : 減衰係数, k : ばね定数

P_0 : 外力の振幅

と表わすとき減衰係数を二つに分けて, 履歴曲線の面積 W , 振幅 $x_{\max}$, 円振動数を ω として

$$C_h = \frac{W}{\pi \omega x_{\max}} \quad \dots\dots\dots (2)$$

より求まる履歴損失による C_h と, ゴムの内部, 外部における摩擦その他 C_h 以外の C_0 との和と考える.

第 8 図

第 9 図

第 10 図

共振点は外力と減衰力とがつり合う点であるので共振時の全体の減衰係数は

$$C = \frac{P_0}{\omega x_{\max}} \dots\dots\dots (3)$$

より算出される。それで外力 $P_0 = 3.33 \text{ kg}$ とし、他の条件を変えて得られる 36 の場合の共振点における C を求めて、横軸に質量、縦軸に減衰係数を取り締付量を媒介変数とし、かたさを記号によって区別すると第 10 図のようになる。これより共振時の全体の減衰係数 C は成分すなわち かたさ には左右されず 締付量によって大きく変化して、その上更に荷重が増せば若干小さくなる。次に加振力のみを変化させた時の共振減衰係数を調べてみる。Duro No. 25, 締付量 30%, 荷重 34.31 kg の例を第 2 表に示す。他の場合もこれと全く同様に加振力が減少すれば C の値も小さくなっ

第 2 表

P_0 kg	C	C_h	C_0	C_c	C/C_0
	$\frac{\text{kg}\cdot\text{s}}{\text{rod}\cdot\text{cm}}$	$\frac{\text{kg}\cdot\text{s}}{\text{rod}\cdot\text{cm}}$	$\frac{\text{kg}\cdot\text{s}}{\text{rod}\cdot\text{cm}}$	$\frac{\text{kg}\cdot\text{s}}{\text{rod}\cdot\text{cm}}$	
4.54	0.409	0.019	0.390	5.276	0.077
3.33	0.348	0.010	0.338	5.432	0.064
2.12	0.326	0.007	0.319	5.560	0.058
0.91	0.239	0.003	0.236	5.715	0.041

ている。加振力が減少すれば振幅も小さくなりその結果履歴曲線の面積も減少する。ところが振幅が大きいほど金属とゴムおよびゴム内部における摩擦の影響が大きく履歴曲線の面積も急激に増加しこの振幅と面積の関係は第 11 図のようになる。このときの C_h , C_0 の値も第 2 表に示しておいた。 C_h の値はこの型のゴムにおいては C に比べて十分小さな値であるから、 P_0 の変化に伴う C の変化を説明するのに振幅の変化より生ずる C_h の増減だけでは不十分で C_0 も P_0 と共に増減しているを見なければならない。次に臨界減衰係数 C_0 は

$$C_0 = 2m\omega_n \dots\dots\dots (4)$$

より求められるから荷重が小さく締付量が大きくゴムがかたく、更に加振力が小さいほど大きくなり、その値と C/C_0 も第 2 表に示しておく。振動伝達率 t を考えると、 ω/ω_n が等しい振動数における t は、 $\omega/\omega_n < \sqrt{2}$ には C/C_0 が大きいほど、また $\omega/\omega_n > \sqrt{2}$ には C/C_0 が小さいほど小さくなって来る。それで共振点の近くすなわち $\omega/\omega_n < \sqrt{2}$ においては P_0 が大きい方が C/C_0 が大きくなり t は小さくなるものと判断される。 $\omega/\omega_n > \sqrt{2}$ の所では C_0 , C_h ともに振幅が小さくなるにつれて小さくなり、また C/C_0 の値も互に近づいてゆくものと考えられる。今加振力を 3.33 kg にしておいて他の条件を変えた時の共振点における C/C_0 を求めると第 3 表のようになる。この表

第 11 図

第 3 表

かたさ Duro No.	締付量% 荷重 kg	20	25	30
25	34.31	0.056	0.053	0.062
	27.31	0.065	0.066	0.073
	20.24	0.073	0.075	0.083
30	34.31	0.047	0.045	0.056
	27.31	0.054	0.057	0.065
	20.24	0.068	0.067	0.074
35	34.31	0.039	0.042	0.053
	27.31	0.050	0.056	0.062
	20.24	0.055	0.065	0.071
43	34.31	0.035	0.039	0.046
	27.31	0.045	0.051	0.056
	20.24	0.053	0.058	0.064

を見るとやわらかいゴムで、荷重、締付量が大きいときほど C/C_0 が大きな値になることがわかった。また接着型のゴムにおいては $C_0 \times \omega$ の値がその成分に固有の一定値を取り形と荷重には無関係となったが、この場合多少の傾向性は持っているが一定値というべきものはない。

4. 剛 性

減衰係数と同様に剛性も共振点にて論ずることにする。Duffing の振動方程式

$$\frac{d^2x}{dt^2} + C\frac{dx}{dt} + (\alpha x + \beta x^3) = P_0 \sin \omega t \dots\dots (5)$$

とおいたとき、ゴムは $\beta < 0$ のいわゆる soft spring であって自己振動数曲線は左に傾いている。それで加振力は 3.33 kg に固定しておいて他の条件を変えたときのばね定数すなわち (1) 式の k の値を図示したのが第 12 図である。この図より剛性はかたさと締付量によって定まり荷重の差より来る点の散り方は傾向性を持たずその差は実験誤差と見られ荷重によって剛性はほとんど変わらないと考える。締付量による k の値の変化はほぼ等差級数に近く各かたさ、各荷重の時の締付量による k の違いの算術平均値をとると同図下の曲線になり、この曲線を作っておけば成分、荷重に無関係に締付量を変えたときの k の値が求められる。第 4 図の共振曲線中 $P_0 = 3.33 \text{ kg}$ のときの共振点の静的履歴曲線をとってみると第 13 図のようになり、この一群の履歴曲線より K. Klotter の法にて求めた静的な共振点は第 4 図の●印の点のようになり動的なときよりやわらかくなっている。今までに Duro No. 36 の組合せ型防振ゴムについて報告したところでは動的な剛性の方が小さくなっていたのであるがそれとは逆になったことになる。動的固有振動数 ω_d と静的固有振

動数 ω_s をとって考えると緩和現象によると $\omega_s < \omega_a$ となり, ゴムと金属, ゴムとゴムの外部摩擦によって $\omega_s > \omega_a$ となることが考えられる。それで4種類のかたさおよび荷重, 3種類の締付量, 都合48の実験で $P_0 = 3.33 \text{ kg}$ として動静二つの固有振動数をとったのが第4表である。これよりかたいゴムで締付量が大きくかつ荷重が小さい

第 12 図

時に ω_a/ω_s が小さくなっている。これは緩和現象と外部摩擦を考えるとやわらかいゴムでは前者の方が大きく効き, かたいゴムでは後者の方が強く出るため

第 13 図

に表われた結果である。両者の影響がちょうど打ち消し合って $\omega_a/\omega_s = 1$ になる かたさ が Duro No. 30 ~ 35 ぐらいであるものと見える。以上の C, k 両方を考慮に入れて締付量を始め荷重, かたさを変えてその共振点の振動数および振幅を示したのが第 14 図である。実線は同じ かたさ で同じ荷重の点を連ねたもので, 点線は同じ かたさ で同じ締付量のときの点を連ねるものであって, 加振力は 3.33 kg にとっている。これより三つの条件を変えることによって共振点がある幅を持った帯状の範囲内でかなり大幅に調節することが可能であることがわかった。

5. 結 言

以上に述べた要点をまとめると

(1) 全体の減衰係数 C は成分によってほとんど変わらず, 締付量と荷重によって変化し加振力が大きく

第 4 表

かたさ Duro No.	荷重 kg 締付量 %	34.31	27.31	20.24
25	20	1.21	1.13	1.16
	25	1.18	1.15	1.07
	30	1.08	1.09	1.10
30	20	1.05	1.05	1.04
	25	1.03	1.05	1.06
	30	1.01	1.00	0.95
35	20	1.05	1.01	0.94
	25	0.99	0.97	0.96
	30	1.00	0.95	0.94
43	20	0.93	0.94	0.82
	25	0.97	0.89	0.74
	30	0.90	0.88	0.79

第 14 図

なる。

(2) 振動伝達率は ω/ω_n が十分大きな所では大差はないが共振点附近ではやわらかいゴムで荷重が小さく締付量が大きいほど小さくなる。

(3) 剛性は締付量とかたさに大きく支配され, 特に前者との関係はほぼ線型である。

(4) このように締付量, かたさ, 荷重を変えると共振振点をかなり大幅に加減出来る。

それで実際に使用するに当って組合せ型防振ゴムはその特性を自由に調整出来ることが明らかになった。

注 -

(1) 昭和 27 年 11 月 23 日 姫路地方臨時大会講演会において講演, 原稿受付 昭和 28 年 12 月 4 日。

(2), (3) 正員, 京都大学。

(4) 正員, 姫路工業大学。