

# 防振ゴムの剪断疲労について (第4報)

## Fatigue of Rubber Spring on Shear (Report 3)

桑江和夫\* 齋田信幸\* 平塚幸哉\*  
 Kazuo Kuwae Nobuyuki Saida Kosai Hiratsuka

### 内容梗概

第1報において、一定剪断荷重を受けて回転する円板型防振ゴムの疲労破壊形式には、接着面破壊とゴム部破壊とがあることを述べた。

本報告では、接着面破壊を阻止することを目的として試験片の端面にRを付けた場合、および初圧縮を与えた場合について疲労試験を行い、その疲労破壊機構とこれらの手段の有効性について検討し、次の結論を得た。

- (1) 端面に5R以上の丸味を付けると、接着面破壊を阻止することができる。  
 2Rの場合は接着面破壊を生ずるが、その疲労強さは5R以上の場合とほとんど異なる。
- (2) 初圧縮を4%以上与えることにより、接着面破壊を阻止することが可能である。この場合、圧縮量を増すにしたがって疲労強さは減少の傾向を示す。
- (3) Rを付した場合と初圧縮を与えた場合とのゴム部疲労強さを比較すると、後者がわずかに小さくなっている。

### [I] 緒言

弾性車輪用防振ゴムの疲労強さに関する研究のために、第1報<sup>(1)</sup>でその一部を報告したように、直径75mm、厚さ25mmのタイプライ接着、円板型防振ゴム試験片を用いて回転剪断疲労試験を行ってきたが、この試験片の疲労破壊形式は、中間的なもの、異状なもの、を除外すると、接着面破壊型とゴム部破壊型とに大別されるものであることはすでに述べたところである。

接着面破壊型はほぼ2.0kg/cm<sup>2</sup>以下の比較的荷重の小さいところで、ゴム部破壊型はこれ以上の荷重の際に起るものであつて、設計時の最大剪断応力を1.0kg/cm<sup>2</sup>前後に取つている、実際の弾性車輪の使用条件のもとで問題となるのは、前者であるといふことができる。

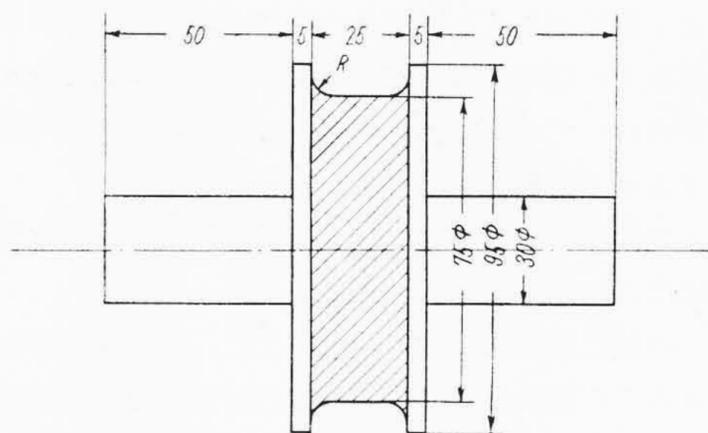
この接着面の疲労破壊を防止する手段として、防振ゴムの端面にRを付けてこの位置の応力集中を緩和し、接着面の剥離の生ずるのを防ぐこと、あるいは使用前に防振ゴムに、圧縮応力を与えておくことなどが実際に採用されている方法であるが、これらの処置が接着面破壊の疲労強さにいかなる効果を及ぼすものであるかについて研究を行つたので、以下これについて報告する。

### [II] 端面Rの効果

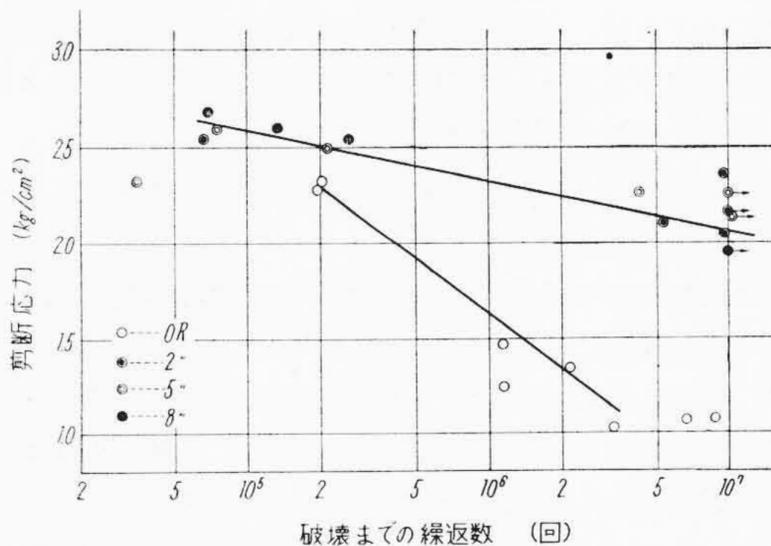
試験片の端面に丸味を付けてこの箇所の応力集中を緩和し、亀裂の発生を阻止して接着面破壊を防止する方法の有効性を確かめる目的で、端面丸味半径の異なるもの3種、これと比較のために接着板形状が同一で、端面に丸味を付けなかつたもの1種、合計4種類の試験片を製作して疲労試験を行つた。

実験に供した防振ゴム試験片は、第1図に示す形状、寸法を持つものであつて、ゴム配合、接着方法は第1報

\* 日立製作所笠戸工場



第1図 R付防振ゴム試験片



第2図 R付防振ゴム試験片疲労試験結果

の研究に用いた試験片とまったく同一になるように製作されたもので、その表面硬度は60～64度であつた。

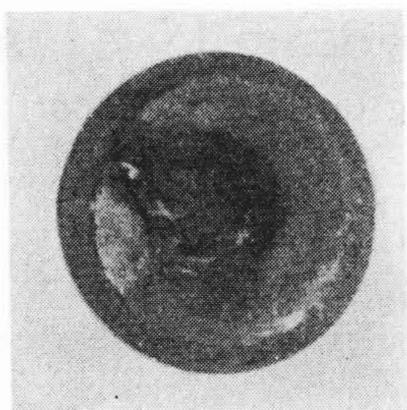
疲労試験は、前報で詳述した自家製の回転剪断疲労試験機を用い、毎分1,280～1,440回の回転速度のもとに1日8時間運転を行い、試験片が剥離、あるいは切断して完全に分離した状態を破壊と定義した。

なおここで剪断応力と称しているものは、剪断荷重を全接着面積で除したものであつて、この場合の接着面積としては、端面のR部分を除外した直径75mmの円板を考えている。

第 2 図に疲労試験結果を示すが、この結果から次の事柄が認められる。

(1) 端面に R を付けることにより、疲労強度の向上が顕著である。

(2) 端面の R 量と疲労強さの関係を調べると、2, 5, および 8 R の間にはほとんど相異がなく、2 mm 以上あれば十分である。



第 3 図 2 R 付防振ゴムの接着面破壊状況

試験片の破壊状態について説明を加えると、端面に R のない試験片の場合には、接着面破壊、すなわち最初端面に亀裂が入り、これがゴムと接着板との剥離に発展し、くり返し数の増加とともにその深さを増し、ついにゴムと接着板との境界から分離、破壊するが、端面に 5 および 8 R の付いている試験片の場合には、ゴム中央面で切断、分離するゴム部破壊を呈している。

ここで注意すべきことは、この試験片に生じたゴム部破壊には二つの型があることである。

第一の型は第 1 報で説明したように、内部摩擦のためにゴム内部の温度が上昇し、温度の最高となる中心部でゴムが化学変化を起して劣化し、爆発的に破壊するものであつて、この破壊の特長は、ゴムの内部温度が定常状態に達する前、すなわち  $10^5$  回前後までの繰返し数の間に破壊することと、切断部を観察すると中心部がスポンジ状に変化していることである。

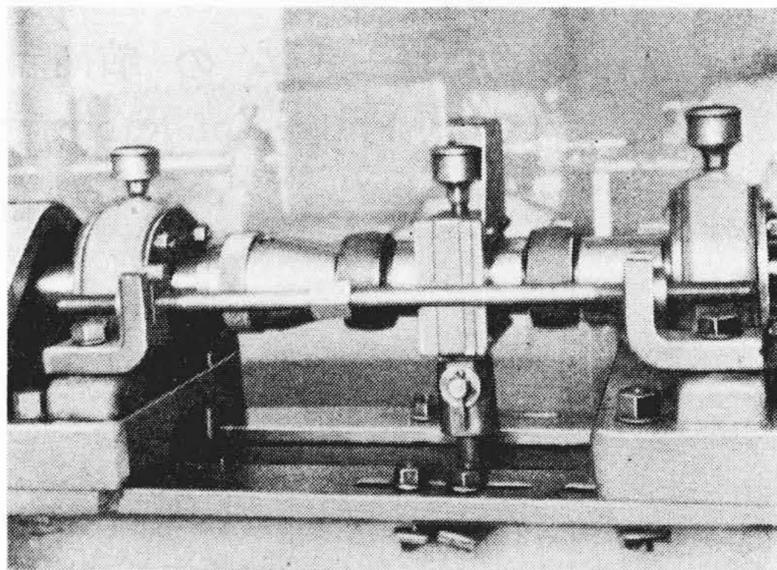
第二の型は、前報では接着面破壊がさきに生ずるために観察できなかつたと思われるものであるが、この試験片では端面の R の効果のために接着面破壊が起りにくくなつた結果、ゴム部に疲労破壊が現われたものであつて、第一の型と異なる点は、 $10^6$  回以後にも起りうること、破断面が引き裂かれたとき様相を示し、外見上ゴムになんらの変化も見られなかつたことである。

第一の型はゴムの熱破壊、第二の型はゴムの疲労破壊と称すべきものである。

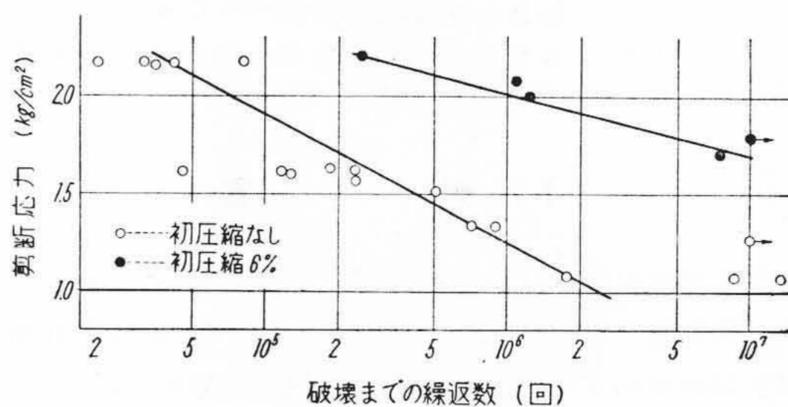
端面に 2 R を付した試験片の破壊は以上と少し異なり、くり返し数が増すとゴムの肩の R 部分に亀裂が入り、この亀裂が接着面に達すると、ここから接着面の剥離が進行して行くものである。

疲労試験中に時々試験片の状態を観察していたにもかかわらず、接着面に剥離が生じていたことを発見できなかつた点から考えて、亀裂が発生してから破壊に至るまでの時間は短く、2 R 付試験片の疲労強さは、R 部分のゴムの肩の疲労強さを意味しているものと思われる。

2 R 付試験片と 5 R および 8 R 付試験片との破壊形式



第 4 図 疲労試験機に取付けた防振ゴムに初圧縮を与えた状態



第 5 図 初圧縮の疲労強度に及ぼす影響

第 1 表 75φ 防振ゴム試験片の接着力(その 1)

実験番号	破壊荷重 (kg)	破壊応力 (kg/cm <sup>2</sup> )
1	1,100	24.9
2	1,150	26.1
3	1,420	32.2
4	1,380	31.2
5	2,360	53.5
6	1,890	42.8

平均: 35.1kg/cm<sup>2</sup> 標準偏差: 11.0kg/cm<sup>2</sup>

が異なっているにもかかわらず、疲労強度がほとんど変わっていないことから考えて、2 R が端面 R の最低必要量に近い値を示しているものと考えられることができる。

### 〔III〕 初圧縮の効果

現在のゴムと金属との接着技術で得られる接着面の疲労強度は、十分に要求を満たさないものであつて、防振ゴムの接着面の剥離を阻止し、疲労強度を高めるためには、さらにほかの方法に頼る必要があるが、初圧縮を与えることはその手段の一つであつて、この方法を採用することによつて疲労強さが高まること、経験的に知られている。

第 4 図は回転剪断疲労試験機に取付けた試験片に、初圧縮を与える方法を示すものであつて、試験機の軸受けに補助金具を取付け、締め付けボルトを締めることにより所定の圧縮変形になるように軸受を動かした後、その

第2表 初圧縮変形6%試験片の端面に亀裂の発見された繰返数

試験片番号	剪断応力 (kg/cm <sup>2</sup> )	亀裂発生までの繰返数
205	1.79	10 <sup>5</sup>
52	1.27	3 × 10 <sup>5</sup>
214	1.08	4 × 10 <sup>5</sup>
215	0.83	5 × 10 <sup>6</sup>

位置が変化しないように軸受を試験機のベッドに固定する。

圧縮変形量を求めるために、締め付け前、および締め付け後のゴム厚をノギスにより2個の試験片の各4箇所測定したが、これらの平均値を初圧縮変形量と呼ぶことにする。

測定の結果では、2個の試験片に圧縮変形が均等に分配されている。

第5図は第1報の実験に供した試験片に、6%の初圧縮変形を与えて疲労試験を行つた結果を示したものであつて、図中で初圧縮なしの実験値は、前報の結果を引用したものである。

試験片の接着力はアムスラー試験機に取付け、30mm/minの荷重速度のもとで引張り破壊試験を行つて求めたが、その測定結果を第1表に示す。

防振ゴムに初圧縮を与えた時の破壊過程を第6図に模型的に示したが、この過程について説明を加えると疲労試験開始直後、接着端面からゴム内部に向つて、接着面とほぼ45度の角度を持つて亀裂の進行が始まる。

疲労試験の途上においては、圧縮応力の作用のために隙間が押し潰されるために、この亀裂の進行状態を直接測定することができなかつたが、亀裂のために自由になつたゴムの部分が、圧縮応力によつて外側にはみ出されることから、亀裂の発展していることが認められた。

亀裂が一定の深さに達するとその進展はいつたん停止し、くり返し数がさらに増加するとゴムの部分で切断するが、この切断の過程はほとんど瞬間的に起るものと思われる。

なぜならば、亀裂が徐々に進行したと思われる接着面と約45度の角度をなす部分は、ゴム相互の摩擦のために磨かれあるいはゴムが溶け、黒い光沢を持った滑らかなゴム肌を示しているのに反し、ゴムの切断したと思われる部分は、表面の荒れた、光沢のない、引張り試験の際の破断面と良く似た状態を示しているからである。

圧縮応力の作用している試験片の端面に、はじめて亀裂の入つた時期を正確にとらえることは、實際上非常に困難であつて、大体の時期を調べるために、時々試験機を止めて試験片の端面を爪で押し、亀裂の有無を確かめる程度に止めた。

第2表は第5図の疲労試験において、初圧縮6%を

第3表 75φ防振ゴム試験片の接着力(その2)

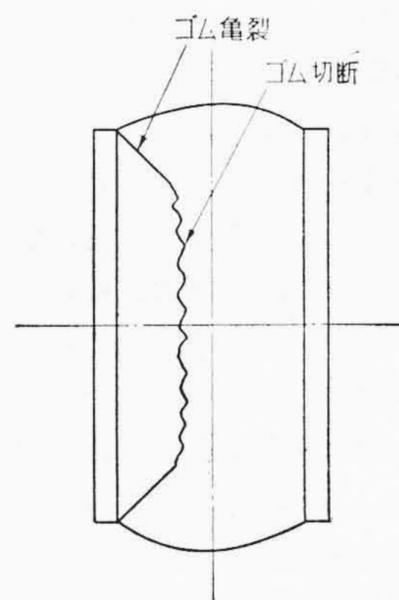
実験番号	破壊荷重 (kg)	破壊応力 (kg/cm <sup>2</sup> )
1	2,770	62.7
2	3,200	72.5
3	3,010	68.2
4	2,600	58.9
5	2,120	48.1
6	1,690	37.9

平均: 58.1kg/cm<sup>2</sup> 標準偏差: 13.0kg/cm<sup>2</sup>

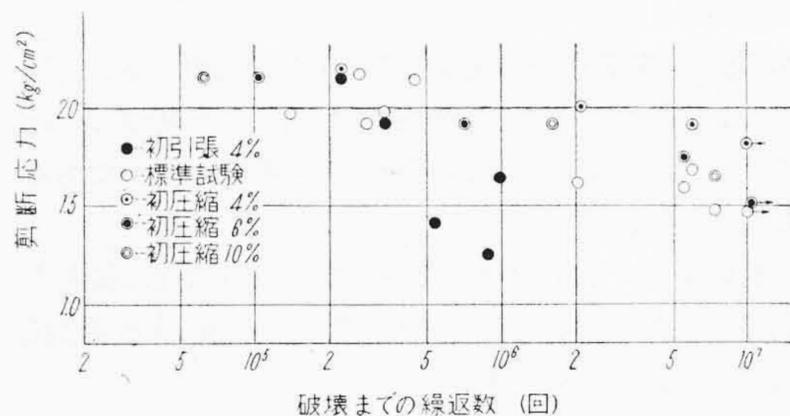
与えたもののうちで10<sup>7</sup>回までに破壊しなかつた試験片に、亀裂の存在が認められた時のくり返し数を示したものである。

この結果の示すように、初圧縮を与えると疲労強さは高まるが、端面の亀裂の発生するのは比較的早い時期であると考えられることができる。

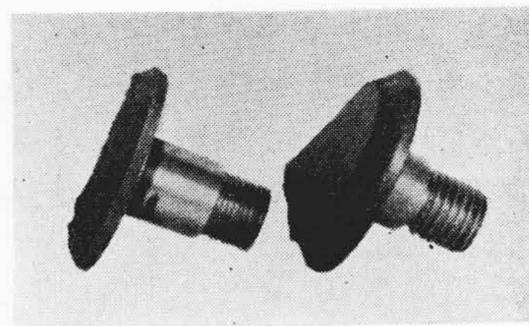
防振ゴムに初圧縮を与えて使用する場合に問題となることは、どの程度の初圧縮が接着面の疲労強さを高める上に必要であるかということであつて、この点の検討のために、75φ試験片に対し4, 6, および10%の圧縮変形、および4%の引張り変形を与えて疲労試験を行つた。



第6図 初圧縮を与えた試験片のゴム部疲労破壊過程



第7図 初圧縮量と疲労強度との関係



第8図 初圧縮を与えた防振ゴム試験片の破壊状況 (左) 6% (右) 10%

この試験片の形状、寸法、ゴム配合は前記の試験片と同一であるが、ただ接着剤の種類が変つたため、接着力は高くなつていて、第3表に示すような値を持っている。

この試験片にいろいろの初変形量を与えて疲労試験を行つた結果を第7図に示すが、その破壊形式について記述すると、初圧縮変形を与えないもの、および引張り変形を与えたものは接着面破壊、初圧縮変形を4%以上与えたものは、前と同様にゴムの肩から亀裂が入り、中央面で切断するゴム部破壊を呈している。

初圧縮を与えた試験片では、疲労試験中ゴムの肩に亀裂が入り、ゴムのはみ出しが起るが、このはみ出し量は圧縮変形の大きいものほど大きく、また破壊後亀裂の進行した部分の深さを観察しても、圧縮変形の大きいもの程深くなつていくことがわかる。第8図に初圧縮6および10%の場合の亀裂の深さの比較を示す。

第5および7図を比較することにより、次に述べる事実が明らかになつた。

(1) 初圧縮を与えると疲労強度は向上し、逆に初引張りを与えると疲労強度は低下する。

接着面疲労破壊は、接着面に作用する引張り応力によつて影響されるものと思われ、初圧縮をある程度以上与えると、剪断荷重によつて生ずる引張り応力を打ち消すか、あるいはこれを小さくするために接着面破壊が阻止され、ゴム部破壊に移向するために疲労強度が高まるものと考えられる。

第7図の実験に使用した試験片では、接着面破壊を阻止するためには、4%の圧縮変形を与えれば十分であるといえる。

(2) 初圧縮を与えると疲労強度が増加するが、その割合は接着力の小さいものほど顕著である。

第5図と第7図とから、同じ6%初圧縮を与えた場合について比較すると、疲労強度がほとんど変つていないことがわかるが、これは両者のゴム配合が同一であることを考えれば当然のことである。

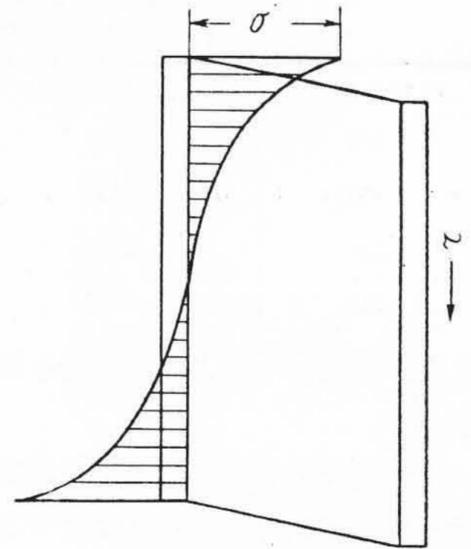
これに反し、圧縮を与えない場合の疲労強度は接着力に関係するため後者が高く、見かけの初圧縮の効果は接着力の小さいもの程大きい。

(3) 異なる初圧縮変形を与えた場合、疲労強度はほとんど変化せず、圧縮変形の大きいものがわずかに低下する傾向を示す。

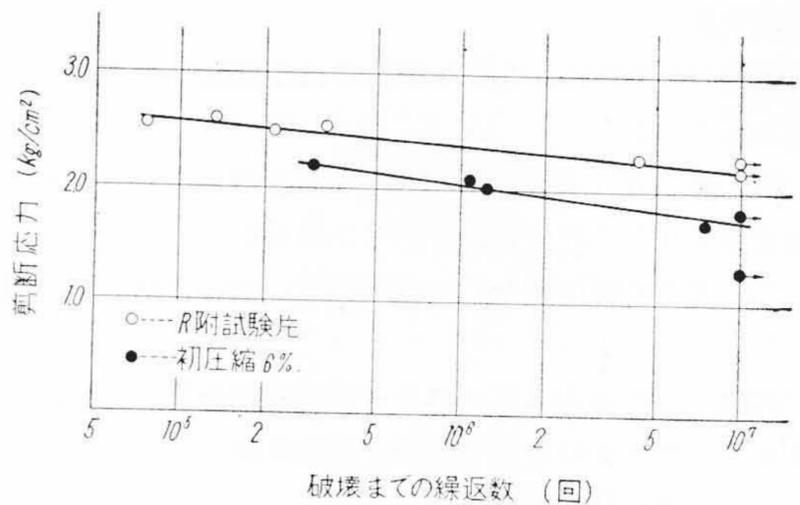
圧縮変形量を増すと亀裂の深さも増すことが破壊した試験片から観察されているが、このために変形量の多いものほど荷重を受持つ面積が小さくなり、疲労強度も減少するものと思われる。

[IV] 考 察

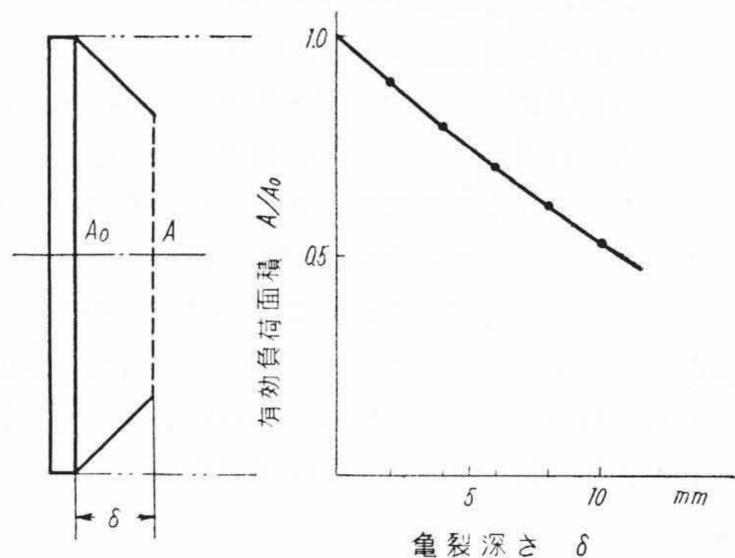
前2章の実験から、端面にRを付けた場合、および初



第9図 剪断荷重によつて防振ゴムの接着面に作用する引張り応力分布状態



第10図 R付試験片と初圧縮を与えた試験片のゴム破壊疲労強さの比較



第11図 亀裂深さと有効受荷重面積との関係

圧縮変形を与えた場合のいずれも、接着面破壊が阻止され破壊がゴム部に移向するために、疲労強度が高まるということが判明した。

端面にRを付け、あるいは初圧縮を与えた場合、接着面破壊が起らなくなる理由は、次のように考えられる。

防振ゴムの変形は大きく、厳密には有限変形理論から求めねばならないが、ゴムを弾性体と考え、微小変形理論から、接着面の端部に作用する引張り応力の分布を計算すると、第9図に示すように接着端面に大きな引張り応力集中が生ずるが<sup>(2)</sup>、これが接着面の剥離の原因とな

つているように思われる。

試験片の肩にRのない場合は、金属疲労試験の際のノッチ付試験片に対応するものと考えられ、接着面に作用する引張り応力集中のために、試験開始後比較的短時間のうちに端面に剥離を生じ、これが漸次発展して接着面破壊が起るものである。

試験片端面にRの付いている場合は、平滑試験片に対応するもので、応力集中が緩和され、端面の剥離が生じにくくなるものと思われる。

一方試験片を締め付け、圧縮応力を与えた場合には、引張り応力を打ち消し、あるいはこれを小さい値に止めるために、接着面剥離にまで至らないものと思われる。

第10図はR付試験片と初圧縮変形6%を与えた試験片との、ゴム部破壊の疲労曲線を比較したもので、同一のゴム配合を持つているにもかかわらず、圧縮変形を与えたものが、若干小さい疲労強度を示している。

この理由として、初圧縮を与えた試験片では、端面から亀裂が入るため、剪断荷重を受持つゴムの面積が減少することが考えられる。第11図は亀裂が接着面と45度の角度を持つて全周から一様に入ったと仮定して、亀裂深さと剪断荷重を受け持つ有効面積との関係を求めたものである。

第10図から初圧縮を与えた試験片の破壊時の有効面積を推測し、この時の亀裂深さを逆算すると、亀裂深さは2~4mm程度になるが、この値は実際の観察結果に近いものである。

防振ゴムに初圧縮を与えて疲労試験を行うと、端部に亀裂が生じてゴムがはみ出すが、ゴムを非圧縮体と考えて、初圧縮応力の消失するはみ出し量を計算すると0.75~1.68mmとなるが、疲労試験時にはこの程度のはみ出しは観察されるもので、疲労試験開始後短時間のうちに、圧縮応力はほとんど消失するものと考えられる。

破壊した試験片において、圧縮量の大きいものほど亀裂深さが大きく、疲労強さが小さくなる傾向を示すことは、このように考えれば理解される。

初圧縮を与えた場合にも、疲労試験期間の大部分は、圧縮応力の消失している状態で行われているものと想像されるのであつて、初圧縮を与えることによつて接着面の剥離を阻止することのできるのは、端面に亀裂の入らない間は圧縮応力が端面の引張り応力を打消すためであり、亀裂が入り圧縮応力が消失した後には、亀裂が自然のRを形成して端面の応力集中を緩和するためではないかと考えられる。

R付試験片と初圧縮を加えた試験片との疲労破壊機構について検討を加えると、上に述べたような、きわめて密接な関係があるように思われる。

## [V] 結 言

防振ゴム試験片の端面にRを付し、あるいは初圧縮を与えて疲労試験を行つた結果、次のことが判明した。

(1) 端面に2mm以上のRを付けると、疲労強度は著しく向上する。端面のRは2R以上あれば疲労強さはほとんど変らない。5および8Rの場合には接着面破壊は完全に阻止され、2Rの場合にはゴムの肩に入った亀裂が接着面に達し、ここから剥離が生ずることも有りうるが、その疲労強度が5および8Rの場合とほとんど異なることから考えて、2Rがほぼ最低必要量であると思われる。

(2) 初圧縮を与えた場合には、接着面破壊が阻止されるために疲労強度は著しく向上する。

この場合の破壊は接着面とは無関係に起るために、接着力の弱い試験片ほど、その効果が顕著である。4、6および10%の圧縮変形を与えて比較した場合、ほとんど差はないが、圧縮変形の大きいものが、わずかに疲労強度を低下する傾向を示す。

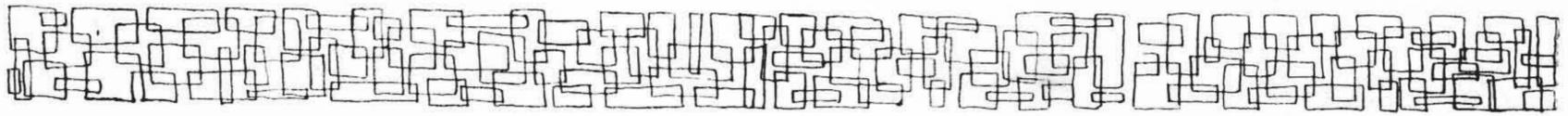
(3) 端面にRを付けた場合の疲労強度と、初期圧縮を与えた場合の疲労強度とを比較すると、前者が大きくなつている。このことは初圧縮を与えた場合には亀裂が入り、ゴムの有効面積が減少するためであると考えられる。

報告を終るにあたり、御指導を頂いた九大石橋教授に心からの謝意を表する次第である。

## 参 考 文 献

- (1) 桑江, 斎田: 日立評論 37, 1317 (昭30-9)
- (2) Craggs: Appl. mech. 75, 2, 270 (1953)





日立製作所社員社外寄稿一覽

(昭和32年6月受付分)

寄稿先	題 目	執筆者所属	執 筆 者
日刊工業新聞社	ウォーターボイラ型原子炉の築造—機器据付工事上の問題点	日立工場	島横井 澄 田 井 田 治 高 橋 治 男 小 林 栄 二 田 中 陸 夫 矢 部 満 鈴 木 音 次 郎 出 水 芳 郎 亀 井 芳 茂 樹 池 田 誠 見 訪 哲 志 雄 沼 谷 嘉 朗 大 古 弘 忠 鬼 頭 国 豊 吉 高 橋 喜 吉 清 間 水 昌 日 月 紋 次 郎 鶴 田 四 郎
電気学会 オーム社	変圧器油劣化の害の実用試験による検討 磁器増幅器の発電所への応用	日立研究所 日立研究所	
日本鉄道車輛工業協会 日本印刷KK 溶接ニュース出版局	車輛会社全国溶接競技会にちなみて 車輛工場における溶接とその設備 溶接技術管	笠戸工場 笠戸工場 笠戸工場	
日本鉄道車輛工業協会 北海道炭硯技術協会 KK日本ビジネス KK幸書房	客車用自由調節式高圧暖房 日立ECC型カーブトコンベ 資材管 ラジオアイソトープ応用計器	笠戸工場 笠戸工場 亀有工場 亀有工場 多賀工場	
日刊工業新聞社	分析用日立超遠心機	多賀工場	
日本溶接協会 日本冷凍協会 日本通信機部品協会	交流アーク溶接機について 飲料水冷却機について 通信機部品の品質管理	亀戸工場 栃木工場 戸塚工場	
高分子学会 高分子学会	天然樹脂 グリセリンフタル酸樹脂とフェノールホルムアルデヒド樹脂	絶縁物工場 絶縁物工場	
高分子学会 コロナ社 オーム社	被照射ポリエチレンの物性 原子炉制御棒の効果 サーボポート資料(東工大、池田助教授の原稿の付録の一部)	中央研究所 中央研究所 中央研究所	
Dr. D. Gordon Sharp, Duke University Hospital	Observation of Epitaxy by Moire Patterns on Electron Micrographs	中央研究所	
Durham North Carolina U.S.A	X-ray Shadow Microscopy with an Electron Microscope	中央研究所	
Durham North Carolina U.S.A	General Nicn of the 300 kV Electron Microscopy ほか6件	中央研究所	
Durham North Carolina U.S.A	An Electron Lens System Excited by Permanent Magnets with a New Astigmatism Complnsator	中央研究所	
日本分析化学会	ジメチルククオキシム—クロロホルム抽出—吸光々度法によるニッケルの定量	中央研究所	
真空技術研究会 オーム社	噴射型真空ポンプにおける蒸気噴射速度について 原子炉における制御の諸問題(1)	中央研究所 中央研究所	
東大総合試験所 To Editorof Brit. T. APP-Phys. The Institute of Physcs 47 Belgrare sqare London	磁界型電子レンズの収差除去に関する研究 The Observation of Metal Sections by Means of the 300 kV Electron Microscope	中央研究所 中央研究所	
日本規格協会 KK工業資料社 日本生産性本部 電力社 産業機械	空気調和について 日立高速堅型圧縮機 安全管理の方向 タービンポンプの取扱い方について タービンポンプの取扱い方について	本社 本社 本社 本社	
			松本 丘 松 永 正 柳 生 健 矢 島 又 雄 矢 島 又 雄