

第36回 疲労試験機

鈴木金属工業(株) 鎗田 博

材料が静的応力を受けて破壊する場合、塑性変形を生じて破壊するいわゆる延性破壊と塑性変形を起こさずに破壊する脆性破壊がある。いずれの場合も引張応力、ねじり応力あるいは曲げ応力が単純に、またはこの応力が複合して作用し、ある値以上になった時に破壊する。

一方、静的破壊応力よりも比較的小さい応力でも、繰返し作用することで材料が破壊する場合がある。このような破壊を疲労破壊と呼んでいる。

この破壊は、静的応力では評価できないため材料に変動応力を加えて、その材料が破壊するまでの繰返し数を求める試験を行なう。この試験を疲労試験という。

今回は、線ばねの材料として使用される線の疲労試験に関する機器とばねの疲労試験に用いられる機器について以下に述べることにする。

1. 線の疲労試験機

1-1 ハンター式回転曲げ疲労試験機

線径1.0mm程度の細線用の試験機である。線を図1のようにループ状にして回転を加えることにより、線の表面に圧縮および引張応力を与える試験を行うものである。機器の原理上、オイルテンパ線のような真直性のある材料はよいが、ピアノ線のような線くせを有する線を試験する場合は、そのまま試験を行うと振動が発生するため、直線加工を行ってから試験を行う。

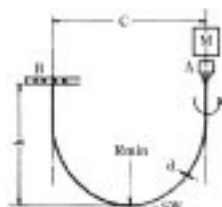


図1 ハンター式回転曲げ疲労試験機概略図

1-2 ヘイ・ロバートソン式回転曲げ疲労試験機

軸方向に圧縮力を加え、線を湾曲(座屈)させた状態で回転させ線の表面に圧縮および引張応力を与える試験機である。ハンター式と同様にその機構から細い線での疲労試験に用いられる。

試験時の応力は図2に示すように試験片中心部で最大応力を生じる。試験時は、式1)により線の曲率を変化させることで設定応力を変化させている。

$$\sigma = Ed / 2\rho \dots\dots 1) \quad \text{ここで } \sigma : \text{設定応力}$$

$$E : \text{ヤング率} \quad \rho : \text{曲率}$$



図2 ヘイ・ロバートソン式回転曲げ疲労試験機概略図

1-3 中村式回転曲げ疲労試験機

ヘイ・ロバートソン式回転曲げの欠点が改良されており、2点支持のおもりにより湾曲させ、モータで回転させて線の表面に圧縮および引張応力を与える疲労試験機である。線の疲労試験機としては、最も一般的な試験機となっている。

図3に試験機の概略図および応力分布を示す。また図4に装置の外観を示す。ハンター式およびヘイ・ロバートソン式と異なり支持間の曲げ応力が一定となっていることが特徴である。

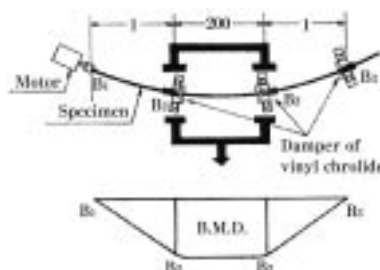


図3 中村式回転曲げ疲労試験機概略図および応力分布

試験応力の算出は、従来単純支持はり理論により求められてきたが、近年の高応力試験においては、前述のはり理論では設定応力と実応力に差が認められることが明らかになり、

このため応力設定に関して、大たわみ曲げ理論で設定するように推奨している。詳細は、「ばねの試験方法の標準化に関する調査報告書」(中村式回転曲げ疲労試験方法)を参照いただきたい。

試験は、線をそのまま試験する方法とばねと同様の処理を施してから試験する方法がある。表1に弁ばね用オイルテンパー線で試験を行う場合



図4 中村式回転曲げ疲労試験機

表1 中村式回転曲げ疲労試験方法

適用可能線径	2.0~8.0mm
試料調整	1次低温焼鈍→ショットピーニング ⇒2次低温焼鈍⇒疲労試験
繰返し数	1×10 ⁷ 回
回転数	4000~5000rpm
応力設定方法	1) 単純はり理論 ・定荷重法 ・定たわみ法 2) 大たわみ曲げ理論
試験方法	・ステア・ケース法 ・S-N法

の例を示す。

試験後は試験応力と折損回数の他に、折損破面の観察を行い折損の起点を明らかにしてデータを整理する。

試験により折損を起こした破面の観察例を図5および図6に示す。それぞれ非金属介在物を起点として折損した線と線表面を起点として折損を起こした例である。

このように弁ばね用オイルテンパー線では、この試験を

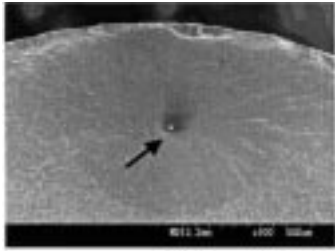


図5 中村式回転曲げ疲労試験による折損破面
(矢印部 非金属介在物起点)

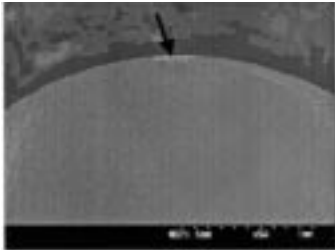


図6 中村式回転曲げ疲労試験による折損破面
(矢印部 表面起点)

非金属介在物の出現率を求める試験として使用することもある。また、近年の高強度材に関しては、試験応力が高くなっており、作動中の試験片の温度上昇に注意が必要となっている。

1-4 回転曲げ疲労試験

サスペンションばね等に使用されるオイルテンパ線は、中村式回転曲げ疲労試験機で試験できないため、図7に示すように同様の原理で開発された回転曲げ疲労試験機を用いて試験を行っている。この試験機は中村式回転曲げと同様におもりで線を湾曲させ試験を行うが、おもりが100kgfまで使用できるため、線径8mmから15mmまで試験が可能



図7 回転曲げ疲労試験機

となっている。

1-5 シェンク式疲労試験機

上述してきた線の疲労試験機は、線を曲げて回転を加えることで圧縮および引張の応力を与えている。しかしコイルばね、トーションバーなどの作動応力は、主としてねじり応力であり回転曲げ疲労試験で作用する応力とは異なっている。

このため線でねじり応力による疲労試験を行うために、シェンク式疲労試験機が用いられる。図8に試験機の概略図を示す。

2. ばね疲労試験機

2-1 星形コイルばね疲労試験機

星形疲労試験機は、ばねに平均応力を与え偏心カムにより応力振幅を与える方式で、定たわみ型といわれるばね用

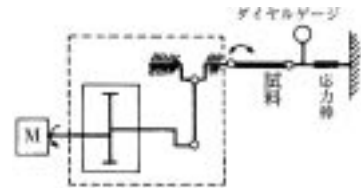


図8 シェンク式疲労試験機概略図

疲労試験機である。このため、試験中にばねのへたりが生じた場合試験中の設定応力が低下するという欠点がある。図9に星形ばね疲労試験機の機構を、試験機の外観を図10

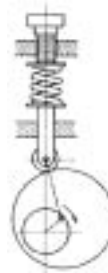


図9 星形ばね疲労試験機の機構



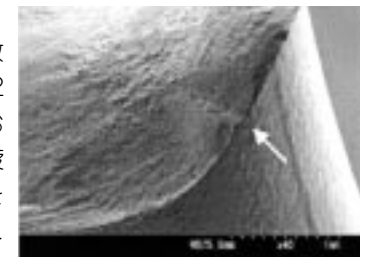
図10 星形ばね疲労試験機

に示す。

この試験機の試験本数は、8個×1段、8個×2段、8個×4段となっており、32連式の星形ばね疲労試験では、8個のばねを4応力で一度に試験することが可能となっている。

弁ばねでの試験繰返し数は、数年前は 5×10^7 回であったのが、現在では 1×10^8 回となってきている。図11に星形ばね疲労試験で折損したばねの観察例を示す。ばね内側表面を起点として折損している。

図11 ばね疲労試験折損破面
(矢印 表面起点)



2-2 太物ばね疲労試験機

上述した星形疲労試験機では試験できないような太径のばねにおいては、クランク式あるいは油圧サーボ式の疲労試験機がある。図12に概略図を示す。カム式では、試験速度が数ヘルツと遅く試験に長時間かかる。油圧サーボ式では、試験ストロークにもよるが数十ヘルツの試験速度で行える。

一般的に、一度に試験できるばね個数が少ないことや、ストロークが大きい場合作動周波数が小さく、試験終了まで時間が掛かる欠点がある。

2-3 環境下での疲労試験

実際のばねはいろいろな環境下で使用されている。このためその作動環境化でばねの疲労を調査する場合がある。このような場合は、ばね疲労試験機にその環境になる装置を取り付けて疲労試験を行う。例えば、炉を取り付け、温間でばね疲労試験を行う場合や、腐食雰囲気中で疲労試験を行う場合もある。

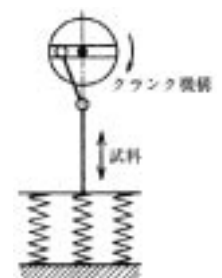


図12 クランク機構ばね疲労試験機