ばね限界値試験に関する研究委員会報告*

ばね限界値試験に関する研究委員会

The Research Committee Report of the Spring Elastic Limit Test

The Spring Elastic Limit Test Research Committee

「ばね限界値試験に関する研究委員会」

委員長	大和田哲也	日本金属(株)	委員	西畑三樹男	日本ベルパーツ(株)
副委員長	伊藤 健郎	日本ベルパーツ(株)	〃	平田 茂	日本冶金工業(株)
委員	山田 克則	中央発条工業(株)	〃	土屋 司	(株)特殊金属エクセル
〃	藤澤 一芳	(株)住友金属直江津	〃	池澤 守	日本金属工業(株)
〃	小林 茂夫	(株)昭和試験機製作所	〃	荒瀬 昇	(有)テストロニクス
〃	今井 辰芳	(株)アドバネクス	〃	富村 宏紀	日新製鋼(株)
オブザーバ	國峯 辰雄	日本ベルパーツ(株)			

The committee members conducted the research of spring elastic limit for spring materials. Those testing instruments used in this research were APT type tester, Siemens tester and a newly developed prototype tester. The first two traditional testers are the possessions of member companies. The measurement by APT type and Siemens tester were in good correlation. The prototype tester displayed almost equal level reading with Siemens tester as far as the spring elastic limit is concerned. Modulus of elasticity reading by the prototype tester, however, were 10~20 GPa higher than Siemens tester reading. The newly developed prototype tester has capability for the display of load-deflection diagram of thin specimen down to 0.05mm as well as measuring spring elastic limit.

Key Words: Spring elastic limit, APT type tester, Siemens tester, Load-deflection diagram, Modulus of elasticity

1. 緒 言

リレー、スイッチ、コネクタなどの電気・電子部品には数多くの薄板ばねや細線ばねが用いられている。薄板のばね性を評価する試験としては、引張試験による応力-ひずみ線図（降伏点、耐力、ヤング率）が多く知られるところであるが、使用状況に即した考え方としては、ばねのへたりに性を考慮した評価をすることが適していると考えられる。ばねのへたりに（永久変形）を評価する方法としては、ばね限界値試験が簡便な評価法であり、薄板ばねの実使用において広く適用されているものである。

ばね限界値試験は、1950年代にドイツから導入され、JIS規格にも片持ちはり方式の繰り返したわみ試験とモーメン

ト式試験が定められている。

これより、今回は、ばね限界値の試験機、試験方法において新しい試みとして曲げ応力（荷重）-たわみ（変位）線図が記録できる試験機を試作した。

今回、このような試験機を製作に至ったわけだが、今後のばね限界値の評価において新しい材料の研究、開発に役立つことが期待される。

2. ばね限界値試験の歴史

リレー、スイッチ、コネクタなどには、種々な目的で数多くの薄板ばねや細線ばねが用いられている。薄板ばねは、曲げ応力を与えて使用されることがほとんどであり、この

曲げ応力によって生じる永久変形すなわち“へたり”が問題となる。ばねのへたりの性を評価する方法は各種行われているが、JIS、DIN等に規格化されている「ばね限界値試験」が一般的である。ばね限界値試験は、ドイツのSiemens社が通信機器用薄板ばねのばね特性評価法として提案したもので、我が国では、1950年前後に通信機用洋白およびりん青銅薄板ばねの試験に取り入れられた。

ばね限界値は一種の永久ひずみ応力で、次のように定義^{1,2)}されている。「ばね限界値とは、曲げによる表面最大応力が $3.675 \times E / 10^4 \text{ MPa}$ となるときの弾性変形と同等の永久変形を生じさせる表面最大応力とする。」ここで、Eは、材料力

学上のヤング率と同等であるがJISの繰返したわみ試験の項目で「たわみ係数」と呼んでいるので本報告では以下「たわみ係数」という。現在、ばね限界値規格と試験法は、JISでは、JIS H 3130ばね用ベリリウム銅、りん青銅及び洋白の板及び条とJIS G 4313ばね用ステンレス鋼帯に適用されている。ばね限界値試験は、JISでは片持はり方式によるFig. 1に示す繰返したわみ式試験とFig. 2に示すモーメント式試験、DINではFig. 3に示す2点支持の中央負荷方式（DIN 50151）が規格化されている。いずれの試験も試験片に曲げ変形を与え、規定の永久たわみが生じた時点の表面最大応力を“ばね限界値”として求めるものである。

3. ばね限界値試験の共同実験

3.1 試料と試験方法

試料は、冷間圧延加工後TA（Tension annealing）処理を施した板厚0.30mmの薄板ばね用ステンレス鋼SUS301HTAとSUS304HTAを用いた。その化学成分をTable 1、ビッカース硬さと引張強さをTable 2に示す。ばね限界値試験片加工は、各社（5社）にて行い、その採取方向は、圧延方向と平行方向（以下0°方向と略す）とした。

ばね限界値測定は、各社保有のモーメント式試験機（以下APT型と略す）を用い、その試験条件（試験片寸法、スパン長、応力負荷時間）をTable 3に示す。なお、一社のみ中央負荷方式試験機（以下シーメンス型と略す）でも測定を行った。ここで、試験片の反り方向は、試験片を定盤に置いたとき左右端部に対して中央部が上に凸になる曲がり形状の場合を上反り、その逆の曲がり形状の場合を下反りと定義した。

Fig. 1 Alternative bending tester (SSF type).

Fig. 2 Moment type tester (APT type).

Fig. 3 Central loading type tester (Siemens type).

Table 1 Chemical composition of the specimens.

Specimen	Chemical composition (mass %)						
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr
SUS301HTA	0.10	0.66	0.98	0.027	0.005	6.90	16.97
SUS304HTA	0.06	0.42	0.83	0.029	0.003	8.20	18.01

Table 2 Tensile strength and micro-vickers hardness of the specimens.

Specimen	Hardness (HV)	Tensile strength (MPa)
SUS301HTA	460	1500
SUS304HTA	380	1130

Table 3 Conditions of spring elastic limit testing.

Supplier	Tester	Test piece size (mm)	Span : L (mm)	Loading (sec.)
A	APT	Width:10, Length: Span + 30	$L^2 / t = 3000$	5
B		Width:10, Length:100	$L^2 / t = 4000$	
C		Width:10, Length:120	$L^2 / t = 3000$	
D		Width:10, Length:100	$L^2 / t = 4000$	
E		Width:10, Length:100	$L^2 / t = 4000$	
B	Siemens	Width:10, Length:100	$L^2 / t = 8000$	

t:Thickness

APT型とシーメンス型測定における試験片上反り、下反り形状のセットと曲げ荷重負荷方向状態をFig. 4に示す。

4. 共同実験結果

試料SUS301HTA, SUS304HTAの上反り、下反りのAPT型によるばね限界値測定の共同実験結果を整理しFig. 5に示す。

Fig. 5 (a) (b) から各社の平均値はSUS301HTAでは、上反り：676～753MPa, 下反り：792～856MPaとなった。全社の平均値での比較では、上反りは715MPa, 下反りは826MPaとなり上反りは下反りよりも110MPa程度低い値を示した。これは、試験片の反り量の大きさが原因である。SUS304HTAは、上反り：708～774MPa, 下反り：696～759MPaとなった。このようにSUS304HTAでは、平坦度が良好であったため上反り下反りの差が10MPa程度と非常に少なかった。

共同実験結果から、各社の値の差異はあるが平均値と比較するとバラツキは、両試料とも60～80MPa程度となり、ほぼ同一水準の値が得られていることが認められた。

5. 委員会で試作したばね限界値試験機

5.1 基本構成と試作

JIS, DIN³⁾ に規格されているばね限界値試験機を検討し、実用性、操作性、経済性等を考慮して新ばね限界値試験機の構成を決定した。また、ばね限界値については、従来の定義を採用した。

本試験機の基本構成を以下に示す。

①曲げ荷重負荷は、Fig. 6に示すように中央負荷方式を採用。ここで、 t ：試料板厚、 b ：試料幅、 W ：曲げ荷重、 L ：スパン、 F ：変位（たわみ量）である。また、中央負荷方式試験での t と L の関係と永久たわみの関係をTable 4に示す。

②曲げ荷重は、ロードセルにて検出。

③曲げ変位量は、光学変位測定計（レーザー変位計）にて検出。

④曲げ変位は駆動シリンダによる自動負荷。

⑤曲げ荷重－変位線図の自動作成を行う。

（1回目と設定永久たわみ量が計測される前後の線図）

Fig. 4 The principle of loading in the testing apparatus.

⑥ばね限界値は、試料寸法（板厚、板幅）、スパン長、たわみ係数、永久たわみ量の入力することにより自動計算。

⑦試験片寸法は、幅10mm, 長さ100mmの短冊形状。

以上の基本を考慮し本委員会で製作したばね限界値試験機の外観と試験片をセットした状態の拡大写真をFig. 7に示す。

Fig. 5 Results of the spring elastic limit tests of thin stainless steel plates in individual supplier (Specimen:SUS301HTA,SUS304HTA, Supplier : A, B...E, Plot : Average).

Fig. 6 Measurement principle of the central loading type tester.

Table 4 Relations between measurement condition and the eternal bend.

Measurement condition: L^2/t	8000	4000
Permanent set : F (mm)	0.05	0.025

6. 実験結果

試料は、板厚0.05～0.30mmの薄板ばね用ステンレス鋼 SUS304HおよびSUS304HTA材である。また、銅合金ばね材料として板厚0.20mmのCu-Ni-Sn合金NB109とりん青銅および板厚0.10mmのばね用りん青銅を用いた。試験片の寸法は、幅10mm、長さ100mmで、試料の採取方向は0°方向である。ばね限界値試験片では、板厚0.30mmはプレス加工、他の試料はフォトエッチング加工により製作した。まず、本試作機で各試料のばね限界値とたわみ係数の測定を行った。ついで、従来のAPT型、シーメンス型試験機にて同様の測定を行った。そのばね限界値測定結果をFig. 8、たわみ係数測定結果をFig. 9に示す。本試験機のばね限界値測定方法では、

(a) Overview.

(b) A close-up of measuring apparatus.

(c) the test piece set-up for the test.

Fig. 7 A central loading type testing apparatus to measure spring elastic limit of thin plates developed in the committee.

予め、試料のたわみ係数を求める必要がある。その、たわみ係数：Eの測定は、スパンは試験片板厚の100倍、曲げ荷重0.1～2Nの範囲で試験片に負荷した曲げ荷重と変位量の実測値から算出した。

Fig. 8の測定結果から各試料のばね限界値は、若干の差異はあるが測定原理が同一のシーメンス型とほぼ同一水準の値が得られた。また、本試作機は、従来の試験機では測定不可能であった板厚0.08, 0.05mmの測定も行いばね限界値を求めた。Fig. 9の測定結果から本試作機のたわみ係数値は、シーメンス型より10～20GPa程度高い値を示した。さらに、本試験機で得られた「曲げ荷重－変位」線図の一例をFig. 10 (a, b, c, d, e) に示す。この線図は、従来の試験機では得られなかった線図であり、今後、薄板ばね材料の曲げ特性評価やオフセット法にてばね限界値を新定義する案の一つになると思われる。

Fig. 8 The result of spring elastic limit measured by conventional and the new methods.

Fig. 9 The result of modulus of elasticity measured by conventional and the new methods.

Fig. 10 Load-deflection diagrams of very thin spring plates with different material.

7. まとめ

本委員会では、新ばね限界値試験機を製作し、板厚0.05～0.3mmのステンレス鋼と銅合金のばね材料を用い、ばね限界値、たわみ係数の測定を行い、従来のばね限界値試験機との比較を行った。その試験で得られた結果は次のように要約される。

- (1) ばね限界値はシーメンス型とほぼ同一水準の値が得られた。
- (2) たわみ係数はシーメンス型より10～20GPa程度高い値であった。
- (3) 従来試験機では測定不可能であった板厚0.1mm以下の測定ができた。

- (4) 従来試験機では得られなかった「曲げ荷重 - 変位」線図を得る事ができた。

今後、本委員会で試作した新ばね限界値試験機の有効性をさらに検討し、実用化を図る必要があると考えられる。

参考文献

- 1) 横井, 荒井, 徳岡, 日本機械学会誌, Vol.70, No.584, (1967) PP.1348 - 1352.
- 2) 三島, 真下, 岩崎, 日本機械学会誌, Vol.72, No.601, (1969) PP.246 - 250.
- 3) DIN EN 12384 (1999) .