

薄板条の曲げによる応力緩和試験方法

Standard method for stress relaxation test by bending for thin sheets and strips

序文 日本伸銅協会の電気部品用銅合金標準化委員会において、曲げによる応力緩和試験方法が検討された。この標準はその応力緩和試験方法を日本伸銅協会（JCBA）技術標準として規定したものである。

1. 適用範囲 この標準は、主として電気・電子部品に使用する、厚さ 0.1 mm 以上 1.0 mm 未満の金属薄板条の常温ならびに高温における曲げによる応力緩和試験方法について規定する。

備考 この標準の引用規格を次に示す。

JIS C 1602 熱電対

JCBA T312 銅及び銅合金板条の片持ちはりによる曲げたわみ係数測定方法

2. 用語の定義 この標準で用いる主な用語の定義は、次のとおりである。

- a) 曲げ応力 (bending stress) 試験片を片持ちりの状態で曲げたときに生ずる表面最大応力 (maximum outer fiber bending stress)。
- b) 応力緩和 (stress relaxation) 一定ひずみ (変位) のもとで、材料に生じる曲げ応力が、時間とともにゆるやかに減少する現象。
- c) 初期応力 σ_i (initial stress) 所定の拘束状態のもとで、応力緩和が開始する以前に試験片に生ずる曲げ応力。
- d) 初期ひずみ (initial strain) 初期応力に対応するひずみ。
- e) 初期たわみ変位 (initial set) 試験片が所定の曲げ応力を得るための弾性たわみ変位。
- f) 初期高さ H_i (initial reference height) 試験準備のために、室温で所定の曲げ応力を加え、それを除荷した後の試験片の規定部位と基準面との高さ。
- g) 開始時間 t_0 (zero time) 試験片が、所定の曲げ応力に初めて達した時の時間。ただし、高温で試験を行う場合は、曲げ応力を与えられた試験片の温度が所定の 95% に達した時の時間とする。
- h) 残存応力 σ_r (remaining stress) 試験中所定時間で、試験片に残存している曲げ応力。初期応力から緩和応力を引いたもの。
- i) 緩和応力 σ_L (relaxed stress) 曲げ応力が緩和する際に減少していく曲げ応力。初期応力から残存応力を引いたもの。
- j) 永久ひずみ (permanent strain) 緩和応力に対応する塑性ひずみ。
- k) 永久たわみ変位 (permanent set) 応力緩和によって生じる塑性たわみ変位。
- l) 応力緩和曲線 (stress relaxation curve) 残存応力又は緩和応力を時間の関数としてプロットした曲線。
- m) 応力緩和率 (stress relaxation ratio) 緩和応力と初期応力との比 (%)。永久ひずみと初期

ひずみとの比で表される。

- n) たわみ係数 E (deflection factor) 片持ちはりの曲げ応力計算式に用いる材料力学上の縦弾性係数と同義で、銅及び銅合金板条の片持ちはりによる曲げたわみ係数測定方法 (JCBA T312) により得られる係数。

3. 試験の概要 短冊試験片を用い、片持ちりにおける曲げ状態での薄板条の常温あるいは高温における応力緩和を対象とした試験方法である。時間の経過とともに増加する永久ひずみを、所定の経過時に常温において試験片の自由端における所定位置でのたわみ変位として測定し、初期応力並びに初期ひずみから次の式によって緩和応力を算出する。(図 1)

$$BD/OE=OA/OC$$

従って、

$$BD=OE \times OA/OC$$

ここに、 $OA=BC$ =初期応力
 $AB=OC$ =初期ひずみ
 DC =残存応力
 EC =残存ひずみ
 BD =緩和応力
 OE =永久ひずみ

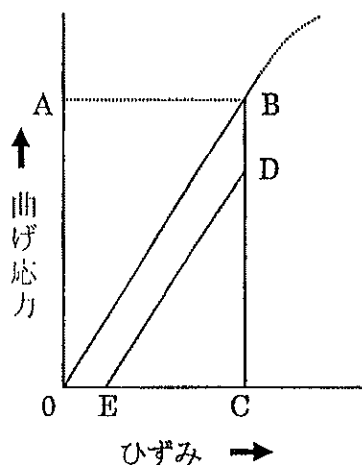


図 1 曲げ応力の緩和を求めるための曲げ応力-ひずみ模式図

以下、2種類のジグを用いた試験方法を規定する。

4. 試験片

- 試験片は、幅 10 ± 0.05 mm を標準とする。長さは約 100 mm とするが、試験片の厚さ、初期応力などにより適宜調整することができる。
- 試験片の採取・作製は、試験片となる部分の材質に変化を生じるような変形又は加熱は避ける。せん断、打抜きなどによる加工を行った試験片で、試験結果にその加工の影響が認められる場合には、加工の影響を受けた領域を切削・除去して、平行部を仕上げる。
- 試験片の矯正は、試験結果に大きな影響を与えるので、避けなければならない。
- 試験片の長手方向の平たん度 f (図 2) は、試験精度の面から $f=3$ mm 以下のものを採用するのが望ましい。

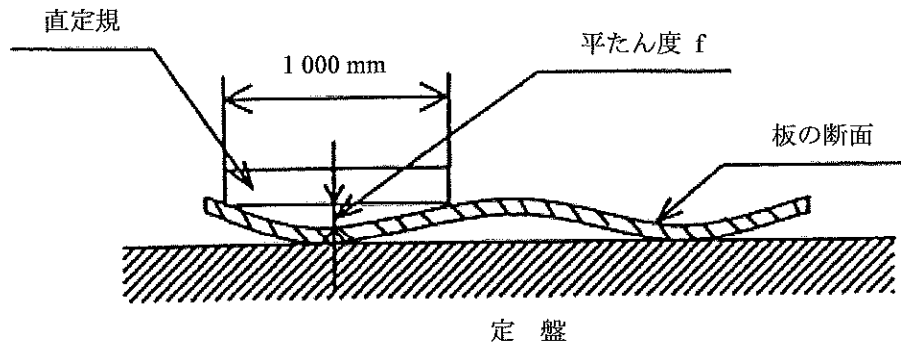


図2 試験片の平たん度

5. 試験装置

5.1 たわみ変位負荷用試験ジグ

5.1.1 片持ちはりブロック式 試験ジグは、図3に示すような試験片保持ブロック (A)、たわみ変位調整ブロック (B)、くさび形ブロック (C)、の3ブロックから構成される。試験片への曲げ応力は、試験片を試験片保持ブロック (A) に片持ちはりの形に取り付け、その自由端部にたわみ変位調整ブロック (B) とくさび形ブロック (C) を組み込むことによって得られる。なお、所定の曲げ応力を得るためには、たわみ変位調整ブロック (B) を選定すればよい。

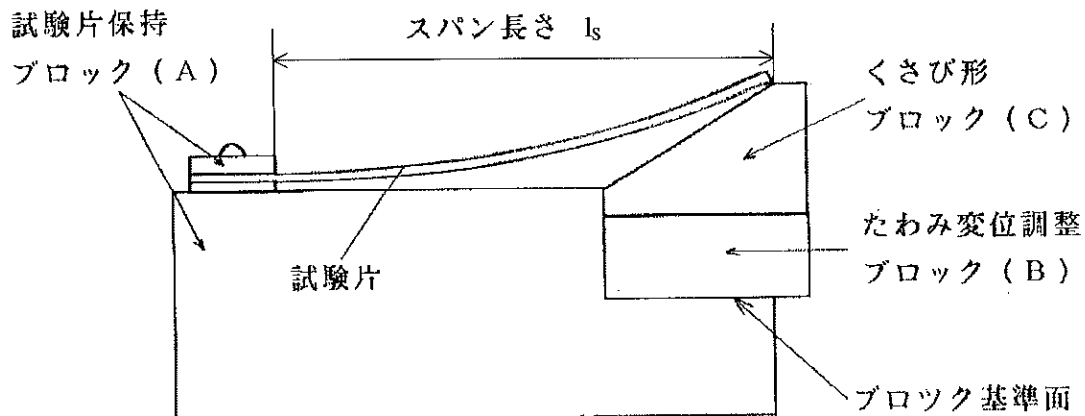


図3 片持ちはりブロック式のたわみ変位負荷用試験ジグ

5.1.2 片持ちはりねじ式 図4のa及びbに示すような装置に試験片を取り付け、たわみ変位負荷用ボルトを締め込み、試験片に所定のたわみ変位を与えて曲げ応力を得る。図4は片持ちはりねじ式の例を示しているが、負荷部形状がナイフエッジのジグを用いても良い。スパン長さは、試験片の厚さに応じて変えられるように、ねじ穴を複数箇所あけるなどする。

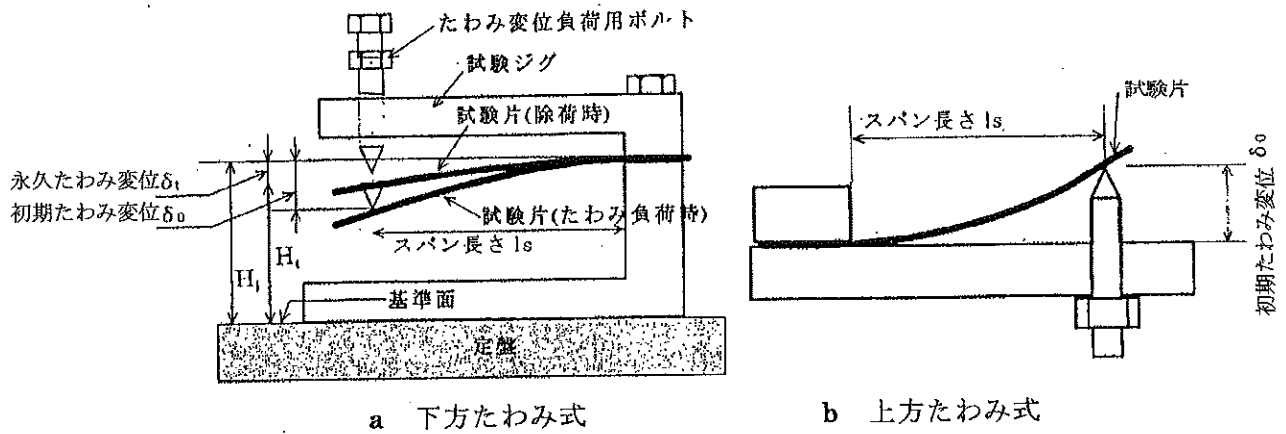


図4 片持ちはりねじ式のたわみ変位負荷用試験ジグ

5.2 加熱装置 恒温槽又は加熱炉は、温度測定装置と温度自動調節装置を備え、試験中試験片の全てにわたり、温度許容範囲内(±5℃)で、一様かつ一定に加熱することができるものでなくてはならない。使用する熱電対は、JIS C 1602に合格するものでなければならない。

5.3 試験片たわみ変位測定装置 試験片加熱前後の自由端の所定位置における永久たわみ変位の測定には、最小目盛10 μmが読み取れる測定器を用いる。例えば、読取り顕微鏡、ハイトゲージなど。

6. 試験方法

6.1 準備

- a) 初期応力 試験片の初期応力は耐力を超えない範囲で設定し、0.2%耐力の80%を標準とする。耐力を超える場合は参考データとする。
- b) スパン長さ l_s スパン長さ l_s は、初期たわみ変位を δ_0 すると、 δ_0/l_s が0.5以下となるように設定する。
- c) 初期たわみ変位 δ_0 の算出 試験片が所定の曲げ応力を得るために必要な初期たわみ変位 δ_0 は、次の式で算出する。

$$\delta_0 = \frac{\sigma \times l_s^2}{1.5 \times E \times t}$$

- ここに、 δ_0 : 初期たわみ変位 (mm)
 σ : 試験片の表面最大応力 (N/mm²)
 t : 試験片の厚さ (mm)
 E : たわみ係数 (N/mm²)
 l_s : スパン長さ (mm)

- d) はりの全長 l_0 の決定 (片持ちはりブロック式) 片持ちはりブロック式におけるはりの全長 l_0 は、計算によっても算出できるが、試験片の異方性、残留ひずみ、平坦度などにより狂いが生じる場合もあるので、先行試験片⁽¹⁾を用いて実測の方が好ましい。

注(1) 各試験条件を定めるために、本試験片と同一ロットの先行試験片を別に用意する必要がある。ただし、この目的で用いた先行試験片は、応力緩和試験に使用してはならない。

はりの全長 l_0 の実測は、下記の手順により行う (図 5)。

- 1) 先行試験片を、手で容易にスライドできる程度に試験片保持ブロック (A) に軽く固定する。
- 2) 所定のたわみ変位調整ブロック (B) とくさび形ブロック (C) を組み込ませた後、先行試験片の先端がくさび形ブロック (C) のスパン長さ l_s の基点部と合致するように、先行試験片をスライドさせ位置を調整する。続いて、位置がずれないように試験片を再固定する。
- 3) たわみ変位調整ブロック (B) とくさび形ブロック (C) を取りはずし、先行試験片をフリーにした状態で、試験片の先端から固定端までの長さをノギスなどで測定することにより、はりの全長 l_0 が測定できる。

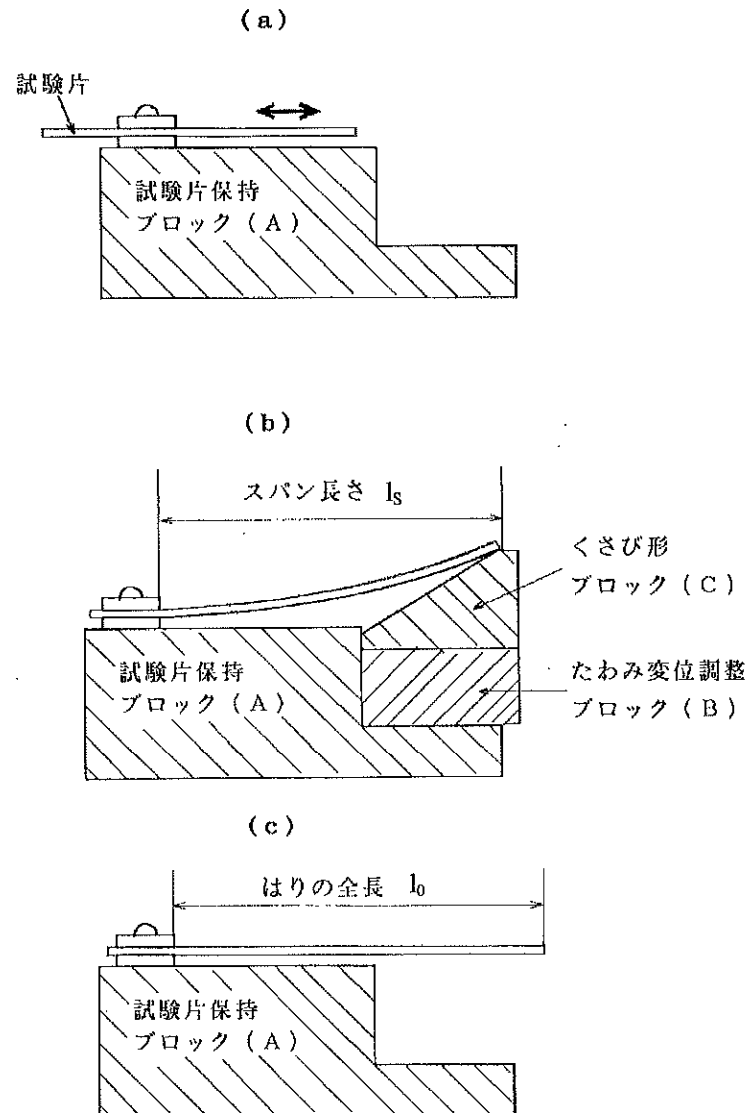


図 5 はりの全長 l_0 の決定

e) 初期高さ H_i の測定

- 1) 片持ちはりブロック式 はりの全長 l_0 となるように試験片を試験片保持ブロック (A) に固定し、ついで所定の厚さのたわみ変位調整ブロック (B), 更にくさび形ブロック (C) を組み込み室温にて 30 秒間保持後, ブロック (B) とブロック (C) を取りはずして除荷し⁽²⁾, 試験片先端とブロック基準面間との距離を初期高さ H_i として測定する。(図 6)
注⁽²⁾ 試験片の内力の分布を均一化し, 測定間のばらつきを少なくするために行う。

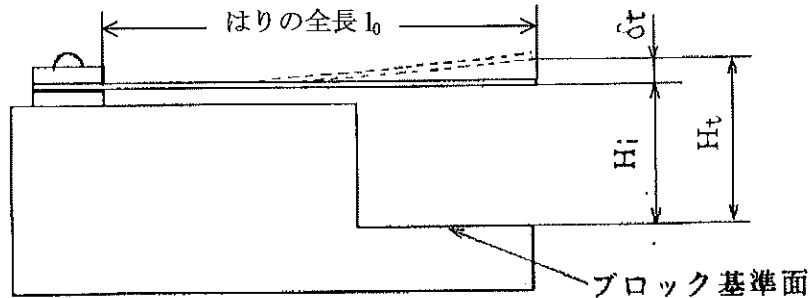


図 6 片持ちはりブロック式の各時間のたわみ変位

- 2) 片持ちはりねじ式 図 4 に示すように試験片を試験装置に取り付け, 所定の変位を室温で与え, 30 秒間保持後除荷し⁽²⁾, 試験装置の底面を基準面とし, この面と試験片たわみ負荷点との距離を H_i として測定する。

6.2 試験 試験片は, 試験温度に保持されている恒温槽又は加熱炉中に, ジグに取り付けた状態で装入する。設定温度の 95% に到達後に計時を開始し, 所定の時間における各々の変位量を 6.2.1 及び 6.2.2 のとおり測定する。試験温度は, 120 又は 150 ± 5 °C を標準とし, 試験時間は, 1000 時間 $\pm 3\%$ を標準とする。また, 途中経時での応力緩和率を測定する場合は, $25 \cdot 50 \cdot 100 \cdot 200 \cdot 500 \cdot 1000$ 時間 $\pm 3\%$ を標準とする。

6.2.1 片持ちはりブロック式

- 所定の時間が経過したら恒温槽又は加熱炉から試験ジグを常温に取り出すとともに, ブロック (B), (C) をはずし除荷する。
- 試験片を常温まで冷却後, 試験片先端とブロック基準面との距離 H_i を測定する。(図 6)
- 測定後, 再びブロック (B), (C) を組み込みたわみ変位を与える。
- 以上の試験を継続繰り返す。
- 各時間毎の永久たわみ変位 δ_t を次の式によって求める。

$$\delta_t = H_i - H_t$$

6.2.2 片持ちはりねじ式

- 所定の時間が経過したら恒温槽又は加熱炉から試験ジグを常温に取り出し, たわみ負荷用ボルトをゆるめ, 又はナイフエッジを外し除荷する。
- 試験片を常温まで冷却後, 基準面 (試験装置の底面) と試験片のたわみ負荷点との距離 H_i を測定する。(図 4)

- c) 測定後、再びたわみ変位を与える。
- d) 以上の試験を継続繰り返す。
- e) 各時間毎の永久たわみ変位 δ_t を次の式によって求める。

$$\delta_t = H_i - H_t$$

7. **応力緩和率の算出** 次式により各加熱時間における応力緩和率を求める。

$$\text{応力緩和率 (\%)} = \frac{\delta_t}{\delta_0} \times 100$$

ここに、 δ_t : 試験経過後の曲げ応力除荷時に生じる試験片の永久たわみ変位 (mm)

δ_0 : 所定の曲げ応力を得るのに必要な試験片の初期たわみ変位 (mm)

8. **試験結果の報告** 試験結果の表し方は、図 7 による。各種試験温度・時間での応力緩和率を Larson-Miller パラメータを用いて表す場合は、附属書 (参考) による。また、必要に応じ、次の項目を報告する。

- a) 材質 (成分)
- b) 引張強さ
- c) 耐力
- d) 伸び
- e) ばね限界値 $Kb_{0.1}$ (又は $Kb_{0.075}$)
- f) 硬さ
- g) 厚さ
- h) 試験片の採取方向
- i) 曲げ応力の計算に用いたたわみ係数
- j) 低温焼なましの有・無, 条件
- k) 時効処理の有・無, 条件
- l) 試験ジグの種類 (片持ちはりブロック式・ねじ式)
- m) 試験ジグのスパン長さ
- n) 変位置測定器種類
- o) 使用恒温槽 (炉)
- p) 初期応力値
- q) 試験温度, 時間
- r) 試験個数 (本)
- s) 試験雰囲気
- t) 応力緩和率
- u) 試験日時
- v) 測定者

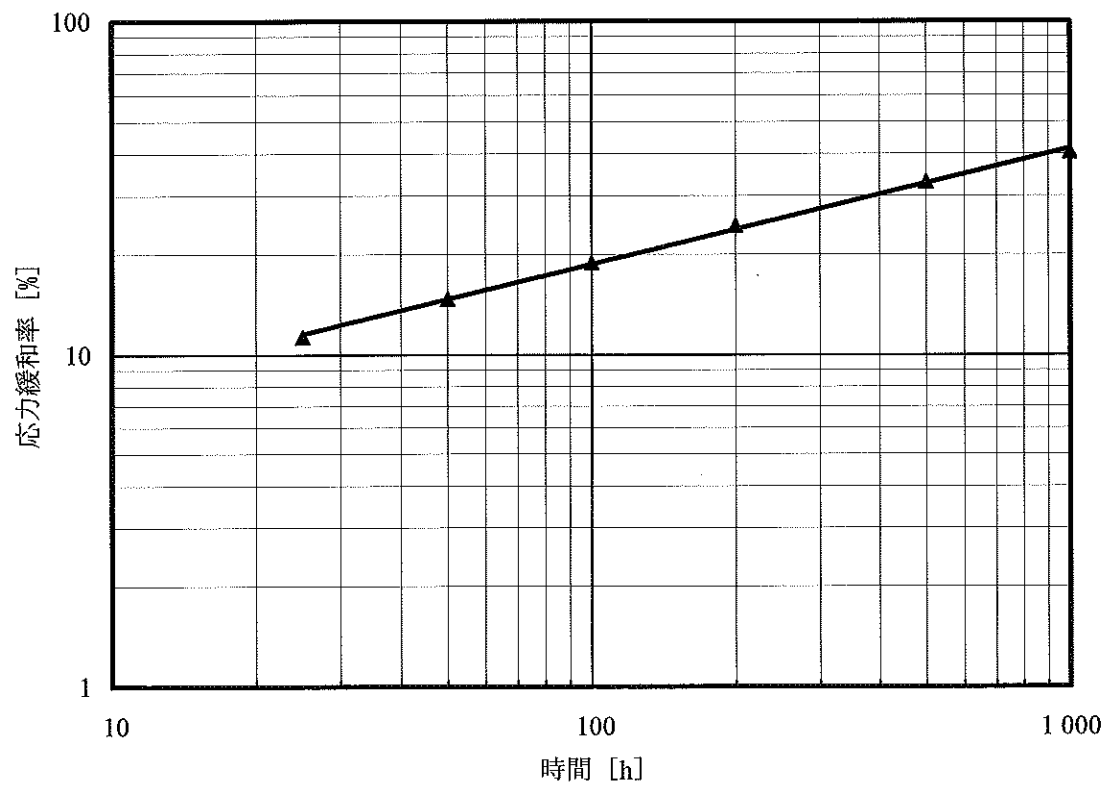
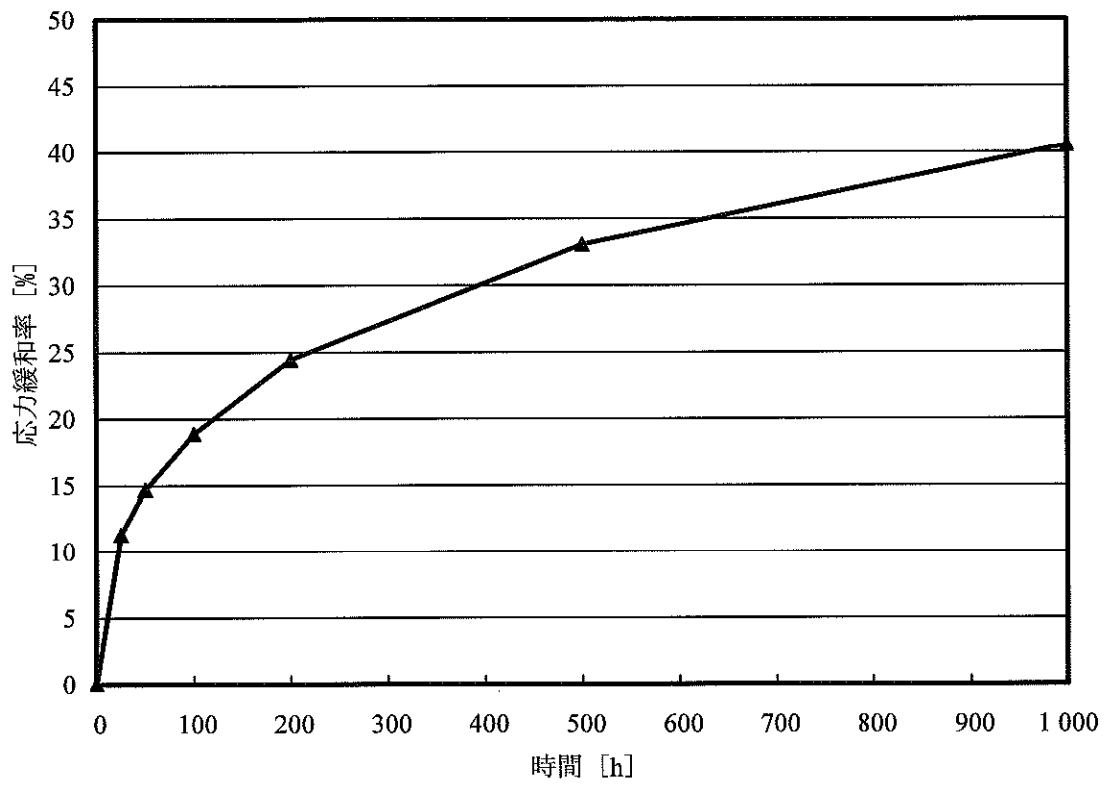


図7 応力緩和曲線例

附属書(参考) 応力緩和率の Larson-Miller パラメータ表示

1. **適用範囲** この附属書は、異なる試験温度と時間における応力緩和率を、Larson-Miller パラメータを用いて一元的に表し、任意の温度と時間における応力緩和率を推定する方法を示したものである。

2. **Larson-Miller パラメータ** 材料の応力緩和率が反応速度論に従うものとして、Larson-Miller パラメータ P は次式で表される。

$$P = F(S) = T(C + \log t)$$

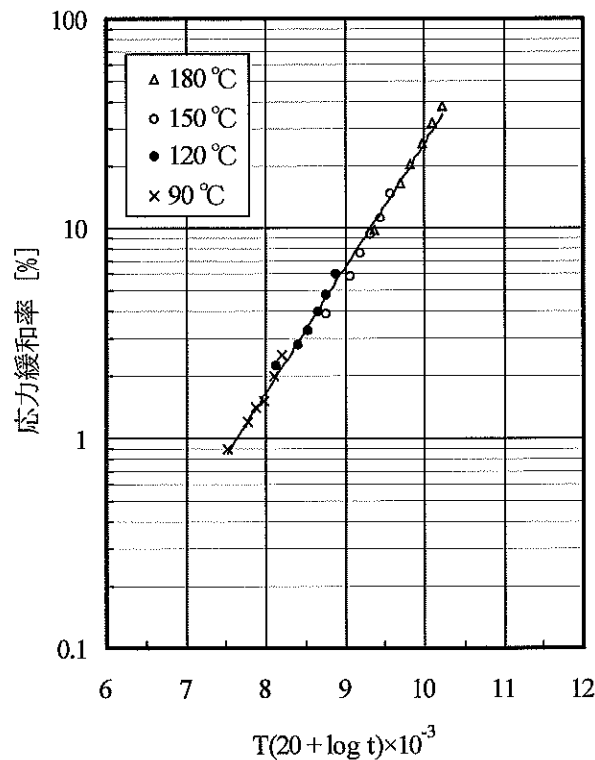
ここに、 T : 試験温度 (K)

t : 試験時間 (h)

C : 定数、ここでは Larson-Miller らに従って 20 とした。

$F(S)$: 応力の関数であるが、ここでは応力緩和率をとった。

3. **応力緩和率の Larson-Miller パラメータ表示** ある初期応力で、異なる試験温度と時間における応力緩和率を Larson-Miller パラメータを用いて表した応力緩和曲線を、**附属書図 1** に示す。



附属書図 1 応力緩和率の Larson-Miller パラメータ表示

4. **Larson-Miller パラメータによる応力緩和率の推定** 附属書図 1 に示した応力緩和曲線は、

$$\log \sigma_L = aT(20 + \log t) \times 10^{-3} - b$$

の形で表すことができるので、最小二乗法によって求めた係数 a , b の値を用いて、任意の温度と時間における応力緩和率を計算により推定することができる。

T309 : 2004

薄板条の曲げによる応力緩和試験方法 解説

この解説は、本体に規定した事柄、附属書に記載した事柄、並びにこれらに関連した事柄を説明するもので、標準の一部ではない。

1. 改正の趣旨 この標準は、薄板条の曲げによる応力緩和試験方法について、日本伸銅協会技術標準として必要な装置、手順などを規定したものである。

前回（2002年）の制定では、端子などの電気接続部品として多く用いられている銅及び銅合金において、高温環境においても端子のばね部分が所望のかん合力を保持できる性質、すなわち応力緩和特性はもっとも重要な特性の一つであり、伸銅品の利用技術の発展に資するものとしてこの標準を制定した。規定内容は、EMAS-1011（ばね材料の曲げによる応力緩和試験方法、旧番号 EMAS-3003）を参考に、試験装置として各社で多数用いられている片持ちはりねじのみを規定した。

今回の改正に当たっては、主として次の諸点を視点として検討を行なった。

a) EMAS(日本電子材料工業会標準規格)との整合化 自動車用コネクタに用いられる銅合金として JASO D620（自動車—電気・電子コネクタ用銅合金の条）が制定され、この中に品質要件として応力緩和特性が規定された。この規格制定に際し、応力緩和特性の試験方法として EMAS 及び JCBA の二つの団体規格が存在しており、需要家として統合が望ましいとの要望があった。今回これに対応して、EMAS との統合を図るべく見直しを行った。

b) 現状との整合性 日本伸銅協会の電気部品用銅合金標準化委員会の構成委員各社に、あらためて試験方法に関するアンケートを実施し、現状と適合し難くなった箇所及び新たに追加規定すべき事項の有無について、見直しを行った。

2. 改正の経緯 この薄板条の曲げによる応力緩和試験方法に関する標準は、2002年に制定されて今日に至っており、今回の改正は第1回に当たる。

3. 審議中に問題となった事項

a) 試験装置について 前回（2002年）の制定では、試験装置として片持ちはりねじのみを規定したが、委員各社にあらためて試験方法に関するアンケートを実施した結果（解説表 1）、既定の片持ちはりねじ式に加えブロック式も汎用的に用いられており、EMAS-1011 に準じ追加規定することとした。EMAS-1011 に規定されている両端支持式は、片持ちはり式と試験片の応力分布が異なり、規定しないこととした。

また、ASTM E328（Standard Method for Stress-Relaxation Tests for Materials and Structure）にはマンドレル式、JSMA SD012（日本ばね工業会—ばね用薄板の応力緩和試験方法）には直接荷重方式による試験方法が規定されているが、一般的でなく規格化は見送ることとした。また ISO 及び EN には、該当試験規格は見当たらなかった。

解説表 1 応力緩和各社試験方法

項目 調査対象	試験装置					試験条件			
	変位荷荷方式				荷重負荷方式	初期応力 N/mm ²	温度 ℃	時間 h	
	片持ちはり ブロック式	片持ちはり ねじ式		両端 支持式					マンド レル式
		下方 たわみ	上方 たわみ						
伸銅データベース (JCBA T309 準拠)			○			250, 500, 0.8YS	85, 120, 150	1 000	
JCBA T309		○	○			規定なし	規定なし	規定なし	
EMAS-1011	○	○		○		規定なし	規定なし	規定なし	
A 社	○					0.33YS, 0.8YS	120, 150, 170	400, 1 000	
B 社	○					0.8YS	120, 140, 160, 175	1 000, 3 000	
C 社			○			0.8YS	125, 150	~1 000	
D 社		○				0.8YS	150	700~1 000	
E 社					○	0.8YS	150	1 000	
F 社				○		0.8YS, 300~500	120, 150, 200	1 000	
G 社		○				0.8YS, 390, 490	90, 100, 110, 120	~171	
H 社		○				0.8YS	120, 150	1 000	
I 社		○				0.8YS	120, 150	~1 000	
J 社	○					0.8YS, 294, 392	120, 150	400, 1 000	
K 社	○					0.8YS	120, 150, 180, 200	1 000, 3 000	
L 社		○			○	0.8Kb	100, 150, 200	100, 1 000	
M 社			○			0.8YS	120, 180	100~1 000	
N 社		○				0.75YS	150, 200	100	

b) 試験条件の標準化について 今回、委員各社より試験条件の標準化を望む意見が多数出され、特に要望の多かった初期応力、試験温度及び試験時間について標準条件を規定することとした。委員各社へのアンケートの結果(解説表 1)を基に、10 社以上で採用されている条件を目安とし、初期応力を 0.2%耐力の 80%、試験温度を 120 又は 150 ℃、試験時間を 1 000 時間として規定した。

また、スパン長さ l_s について、前回 (2002 年) の制定では試験片の厚さを t として $30\sqrt{t} \sim 70\sqrt{t}$ の範囲としたが、今回、試験精度に及ばず影響の点で初期たわみ変位 δ_0 との比で規定すべきとの結論に達し、試験片の厚さによる規定に代わり δ_0/l_s を 0.5 以下として規定した。

4. 適用範囲(本体の 1.)

a) EMAS-1011 では、電気・電子部品用材料として銅合金のほかステンレス等も対象としており、規格統合の観点より、適用範囲を銅及び銅合金薄板条より金属薄板条とした。同様に、EMAS-1011 に規定されている範囲に準じ、適用厚さ 0.1 mm 以上 1.0 mm 未満を追加した。

b) たわみ係数の測定に関する引用規格として、**JCBA T312** を追加した。また、本文中に引用していない **JIS H 3100・JIS H 3110・JIS H 3130** 及び関連規格の **ASTM E328** を削除した。

5. 規定項目の内容

5.1 用語の定義(本体の 2.) 初期応力として、耐力を規定しばね限界値を削除したことに伴い、ばね限界値の定義を削除した。

5.2 試験装置(本体の 5.) 委員各社へのアンケートの結果 (**解説表 1**) を基に、汎用的に用いられている片持ちはりブロック式を **EMAS-1011** に準じ追加した。

5.3 準備(本体の 6.1)

a) 委員各社へのアンケートの結果 (**解説表 1**) を基に、初期応力について 0.2%耐力の 80%を標準とした。これにより、ばね限界値の規定を削除した。

b) 試験精度に及ぼす影響を鑑み、スパン長さ l_s を試験片の厚さ t に対し $30\sqrt{t} \sim 70\sqrt{t}$ の範囲より、初期たわみ変位 δ_0 との比で規定することとし、 δ_0/l_s を 0.5 以下とした。

c) 試験装置に片持ちはりブロック式を追加したことに伴い、片持ちはりブロック式のはりの全長の決定及び初期高さの測定手順を **EMAS-1011** に準じ追加した。

5.4 試験(本体の 6.2)

a) 委員各社へのアンケートの結果 (**解説表 1**) を基に、試験温度を 120 又は 150 °C、試験時間について 1 000 時間を標準とした。また、途中経時での測定間隔について 25・50・100・200・500・1 000 時間を標準とした。

b) 試験装置に片持ちはりブロック式を追加したことに伴い、片持ちはりブロック式の試験手順を **EMAS-1011** に準じ追加した。

5.5 試験結果の報告(本体の 8.)

a) 試験結果の表し方として、**附録**の応力緩和試験報告書様式例を削除し、一般的な応力緩和曲線グラフを用いることとした。また、必要に応じ報告すべき項目として、試験装置に片持ちはりブロック式を追加したことに伴い、試験ジグの種類を追加した。

b) Larson-Miller パラメータを用いて、異なる試験温度と時間における応力緩和率を一元的に表す方法は、需要家にとって任意の温度と時間における応力緩和率を推定できる利便性があり、**EMAS-1011 解説**を基に、**附属書 (参考)** として示した。

6. 懸案事項 今回、同一素材を用いて**解説表 2**の試験条件により、各社協同試験を行った。結果、**解説表 3**に示す通り、初期たわみ変位 δ_0 とスパン長さ l_s の比 δ_0/l_s が大きくなるに従って応力緩和率が小さくなる傾向が見られ、今回 δ_0/l_s を 0.5 以下として規定したが、それでもなお 10%程度のばらつきが生じる結果となった。要因として試験片の作製方法、初期高さの測定要領、恒温槽取り出し後の測定要領及び試験温度の管理等の意見が出されたが、解明までには至らず、次回の改正までの懸案事項とした。

解説表 2 応力緩和各社協同試験条件

項目	試験条件
種類・質別	C5210R-H
厚さ	0.25 mm
0.2%耐力	522 N/mm ²
たわみ係数	110 kN/mm ²
試験片の採取方向	L.D. (圧延方向に平行)
試験方式	片持ちはり式 (詳細は解説表 3 による。)
初期応力	418 N/mm ² (0.2%耐力の 80%)
スパン長さ・初期たわみ変位	解説表 3 による。
試験温度	150 °C
試験時間	1 000 h

解説表 3 応力緩和各社協同試験結果

項目 試験会社	試験装置			試験条件			試験結果 応力 緩和率 %
	片持ちはり ブロック式	片持ちはり ねじ式		初期たわみ変位 δ_0 mm	スパン長さ l_s mm	たわみ比 δ_0/l_s	
		下方 たわみ	上方 たわみ				
A社	○			20.52	45	0.46	40.5
B社	○			10	31.4	0.32	49.0
C社			○	25.4	50	0.51	31.5
D社		○		9.12	30	0.30	40.5
H社		○		9.12	30	0.30	45.8
J社	○			42.8	65	0.66	41.1
K社	○			2	14.09	0.14	49.0
L社		○		4.05	20	0.20	42.4
N社		○		9.12	30	0.30	39.1
各社平均							42.1