

目 次

	ページ
序文.....	1
1 適用範囲	1
2 引用規格	1
3 用語及び定義.....	1
4 記号	3
5 試験の原理.....	4
6 試験装置	5
7 試験片	6
8 試験	6
8.1 一般	6
8.2 伸び計を使用しない方法（試験方法 1）	6
8.3 伸び計だけを使用する方法（試験方法 2）	8
8.4 幅計及び伸び計を使用する方法（試験方法 3）	9
9 追加試験結果.....	11
10 報告	12
附属書 A（参考）塑性ひずみ比測定の影響要因の調査方法	13
附属書 JA（規定）固有振動法.....	19
附属書 JB（参考）JIS と対応国際規格との対比表.....	21

まえがき

この規格は、産業標準化法第 16 条において準用する同法第 14 条第 1 項の規定に基づき、認定産業標準作成機関である一般社団法人日本鉄鋼連盟（JISF）から、産業標準の案を添えて日本産業規格を改正すべきとの申出があり、経済産業大臣が改正した日本産業規格である。これによって、JIS Z 2254:2008 は改正され、この規格に置き換えられた。

この規格は、著作権法で保護対象となっている著作物である。

この規格の一部が、特許権、出願公開後の特許出願又は実用新案権に抵触する可能性があることに注意を喚起する。経済産業大臣は、このような特許権、出願公開後の特許出願及び実用新案権に関わる確認について、責任はもたない。

薄板金属材料の塑性ひずみ比試験方法

Metallic materials - Sheet and strip - Determination of plastic strain ratio

序文

この規格は、2020年に第3版として発行されたISO 10113を基とし、技術的内容を変更して作成した日本産業規格である。

なお、この規格で附属書JAは、対応国際規格にはない事項である。また、この規格で側線又は点線の下線を施してある箇所は、対応国際規格を変更している事項である。技術的差異の一覧表にその説明を付けて、附属書JBに示す。

1 適用範囲

この規格は、薄板金属材料の塑性ひずみ比試験方法について規定する。

また、附属書JAに、ステンレス鋼を除く薄鋼板又は鋼帯の固有振動法による塑性ひずみ比試験方法について規定する。

注記 この規格の対応国際規格及びその対応の程度を表す記号を、次に示す。

ISO 10113:2020, Metallic materials-Sheet and strip-Determination of plastic strain ratio (MOD)

なお、対応の程度を表す記号“MOD”は、ISO/IEC Guide 21-1に基づき、“修正している”ことを示す。

2 引用規格

次に掲げる引用規格は、この規格に引用されることによって、その一部又は全部がこの規格の要求事項を構成している。これらの引用規格は、その最新版（追補を含む。）を適用する。

JIS B 7721 引張試験機・圧縮試験機一力計測系の校正方法及び検証方法

JIS B 7741 一軸試験に使用する伸び計の校正方法

JIS G 0202 鉄鋼用語（試験）

JIS Z 2241 金属材料引張試験方法

JIS Z 8401 数値の丸め方

3 用語及び定義

この規格で用いる主な用語及び定義は、次によるほか、JIS G 0202による。

3.1

塑性ひずみ比, r (plastic strain ratio)

板状引張試験片に単軸引張応力を付加することによって生じた、試験片の幅方向真塑性ひずみと厚さ方向真塑性ひずみとの比

注釈 1 r 値又はランクフォード値ともいい、式(1)による。

$$r = \frac{\varepsilon_{p,b}}{\varepsilon_{p,a}} \dots \dots \dots (1)$$

ここで、
 $\varepsilon_{p,a}$: 厚さ方向の真塑性ひずみ
 $\varepsilon_{p,b}$: 幅方向の真塑性ひずみ

注釈 2 所定の塑性ひずみによる測定で使用する式(1)は、試験片に均一な塑性ひずみが生じている範囲においてだけ有効である。

注釈 3 試験片の厚さ方向の測定よりも、長さ方向の測定のほうが、容易でより精確であるため、塑性ひずみ比の算出に体積一定の法則から導いた式(2)が、最大試験力時の塑性ひずみ(A_g)まで使用されている。

$$r = \frac{\ln\left(\frac{b_1}{b_0}\right)}{\ln\left(\frac{L_0 b_0}{L_1 b_1}\right)} \dots \dots \dots (2)$$

注釈 4 塑性変形の際に相変化を示す材料の場合には、測定部の体積は、常に一定であるとはいえない。このような場合には、測定の手順を受渡当事者間で協議することが望ましい。

注釈 5 塑性ひずみ比は、測定時の塑性ひずみだけでなく圧延方向にも依存するため、圧延方向に対する試験片の方向と測定時の塑性ひずみの大きさを、 r の記号に添字で付ける場合がある。

例 $r_{45/20}$ (表 1 参照)

3.2

平均塑性ひずみ比, \bar{r} (weighted average plastic strain ratio)

試験片を板面の圧延方向に対して平行、 45° 及び 90° の各方向から採取し、測定した塑性ひずみ比を用いて求めた加重平均値

注釈 1 平均塑性ひずみ比は、式(3)による。

$$\bar{r} = \frac{r_{0/y} + 2r_{45/y} + r_{90/y}}{4} \dots \dots \dots (3)$$

式(3)は、塑性ひずみ比を塑性ひずみ量 y で測定した場合である。塑性ひずみ比に塑性ひずみの範囲 $\alpha-\beta$ で測定した値 ($r_{0/\alpha-\beta}$ 、 $r_{45/\alpha-\beta}$ 及び $r_{90/\alpha-\beta}$) を適用することも可能である。

注釈 2 材料によっては、ここで規定する以外の試験片方向としてもよい。この場合には、式(3)以外の式による。

注釈 3 塑性ひずみ比は、試験片の各方向の測定にあたって、試験方法、評価方法及び塑性ひずみ量 (塑性ひずみの範囲) を全て等しくする。

3.3

面内異方性, Δr (degree of planar anisotropy)

試験片を板面の圧延方向に対して平行及び 90° の各方向から採取して測定した塑性ひずみ比の平均値と試験片を圧延方向に対して 45° の方向から採取して測定した塑性ひずみ比との差

注釈 1 面内異方性は、式(4)による。

$$\Delta r = \frac{r_{0/y} - 2r_{45/y} + r_{90/y}}{2} \dots\dots\dots (4)$$

式(4)は、塑性ひずみ比を塑性ひずみ量 y で測定した場合の例である。塑性ひずみ比を塑性ひずみ量の範囲 $\alpha-\beta$ で測定した値 ($r_{0/\alpha-\beta}$ 、 $r_{45/\alpha-\beta}$ 及び $r_{90/\alpha-\beta}$) を適用することも可能である。

注釈 2 材料によっては、ここで規定する以外の試験片方向としてもよい。この場合、式(4)以外の式による。

注釈 3 塑性ひずみ比は、試験片の各方向の測定にあたって、試験方法、評価方法、及び塑性ひずみ量 (塑性ひずみの範囲) を全て等しくする。

4 記号

この規格で使用する記号及びその内容は、表 1 による。

表 1—記号及びその内容

記号	その内容	単位
A_g	最大試験力時の塑性ひずみ	%
a	所定の塑性ひずみを付加したときの試験片の厚さ	mm
a_0	引張変形前の試験片の厚さ	mm
a_1	試験力付加及び解放後の試験片の厚さ	mm
b	所定の塑性ひずみを付加したときの試験片の幅	mm
b_0	引張変形前の試験片の幅 (以下、試験片の原幅という。)	mm
b_1	試験力付加及び解放後の試験片の幅	mm
d	幅方向の反り	mm
e	所定の塑性ひずみ	%
$e_{p,a}$	厚さ方向塑性ひずみ	%
$e_{p,b}$	幅方向塑性ひずみ	%
$e_{p,L}$	長さ方向塑性ひずみ	%
F	試験力	N
L	所定の塑性ひずみを付加したときの標点間の距離	mm
L_0	原標点距離	mm
L_1	試験力付加及び解放後の標点間の距離	mm
L_e	伸び計の標点距離	mm
m_E	応力-ひずみ線図の弾性域の傾き	MPa
m_r	試験片の長さ方向の真塑性ひずみに対する幅方向の真塑性ひずみの関係を示す直線の傾き	—
r	塑性ひずみ比	—
$r_{x/y}$	塑性ひずみ比 (圧延方向に対し x° の方向/ y %の量)	—
$r_{x/\alpha-\beta}$	塑性ひずみ比 [圧延方向に対し x° の方向/ $[(\alpha-\beta) %]$ の塑性ひずみ範囲]	—
$\bar{r}^a)$	平均塑性ひずみ比	—
R_m	引張強さ	MPa
S_0	試験片平行部の原断面積	mm ²
S_i	ひずみ付加時の瞬時断面積	mm ²
Δb	試験片の幅の変化	mm
ΔL	測定した伸び	mm
Δr	面内異方性	—

$\varepsilon_{p,a}$	試験片厚さ方向の真塑性ひずみ	—
$\varepsilon_{p,b}$	試験片幅方向の真塑性ひずみ	—
$\varepsilon_{p,L}$	試験片長さ方向の真塑性ひずみ	—
ν	ポアソン比 (例えば, 鋼 : 0.30, アルミニウム : 0.33)	—
α, β, x, y	用いられる変量の添字記号	—
注記 1 他の文書では, この表以外の記号が用いられている場合がある。 注記 2 1 MPa=1 N/mm ² 注^{a)} \bar{r} の代わりに r_m と表示してもよい。		

5 試験の原理

塑性ひずみ比は, 材料の特性評価及び材料認定, 並びに成形プロセスの数値シミュレーションにしばしば使用される。

引張試験によって, 試験片に所定の水準まで均一な塑性ひずみを与えたときの, 引張変形前後の試験片の幅及び厚さの値によって塑性ひずみ比を計算する。実用上は, 塑性変形の前後での体積を一定と仮定し, 変形前後の試験片の幅及び標点間の距離を測定することによって塑性ひずみ比を計算する [式(5)参照]。

$$\varepsilon_{p,a} + \varepsilon_{p,b} + \varepsilon_{p,L} = 0 \quad \text{..... (5)}$$

ここで,

$$\varepsilon_{p,a} : \ln\left(\frac{a_1}{a_0}\right)$$

$$\varepsilon_{p,b} : \ln\left(\frac{b_1}{b_0}\right)$$

$$\varepsilon_{p,L} : \ln\left(\frac{L_1}{L_0}\right)$$

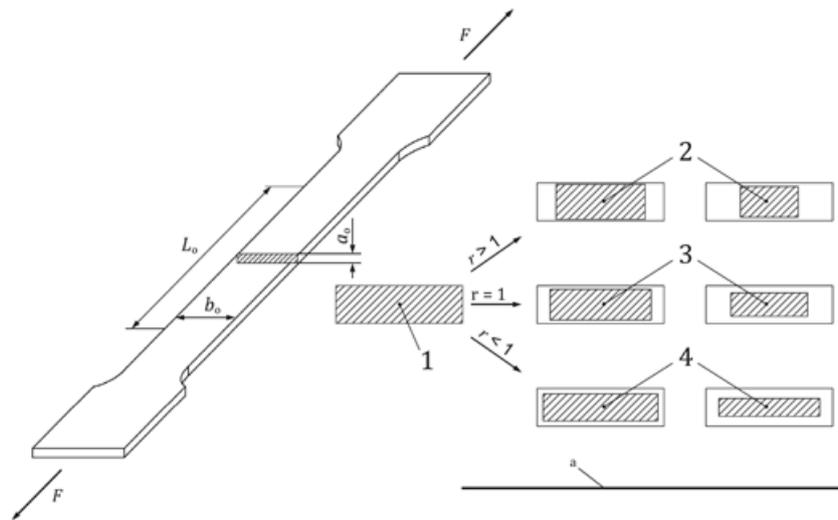
最大試験力時の塑性ひずみ A_g 以降は, 局所的なネッキングが始まり, 使用している数学的な手法は, もはや有効ではないので, 体積一定則は, この点までの範囲だけ適用可能である。

ある種の材料は, A_g 以前にわずかな局所的ネッキングを示す。これによって, 瞬間的な幅縮小を測定する幅計¹⁾を特に標点距離の中央部だけで使用する場合, より高い瞬間的な幅縮小値及びより高い塑性ひずみ比の結果が出ることもある。この場合には, 次の点を推奨する。

注¹⁾ 幅方向の寸法を測定する装置

- 瞬間的な幅変化を測定することができる幅計 (箇条 6 参照) は, 理想的には, 標点距離全体にわたって複数箇所を均等に測定することが望ましい。
- 試験片の平行部長さは, 引張変形前の試験片の幅 b_0 の 6 倍以上とすることが望ましい。

塑性ひずみ比が 1 より大きい場合, 試験片の塑性ひずみは, 厚さ方向よりも幅方向の方が大きい ($|\varepsilon_{p,b}| > |\varepsilon_{p,a}|$ 図 1 参照)。塑性ひずみ比が 1 よりも小さい場合, 試験片の塑性ひずみは, 幅方向よりも厚さ方向の方が大きい ($|\varepsilon_{p,b}| < |\varepsilon_{p,a}|$ 図 1 参照)。塑性ひずみ比が 1 の場合, 試験片の塑性ひずみは, 幅方向と厚さ方向とが等しい ($\varepsilon_{p,b} = \varepsilon_{p,a}$ 図 1 参照)。



記号説明

- 1: 平行部原断面
- 2: 塑性ひずみが、厚さ方向より幅方向の方が大きい試験片 ($|\epsilon_{p,b}| > |\epsilon_{p,a}|$)
- 3: 等方性材料 [塑性ひずみが、幅方向及び厚さ方向に等しい試験片 ($\epsilon_{p,b} = \epsilon_{p,a}$)]
- 4: 塑性ひずみが、幅方向より厚さ方向により大きい試験片 ($|\epsilon_{p,b}| < |\epsilon_{p,a}|$)
- a: 塑性による伸びの増加

図1—異なる塑性ひずみ比に対する断面変形

6 試験装置

使用する引張試験機は、**JIS B 7721** の等級 1 級以上とする。

ただし、試験方法 1 に適用する試験機、及び試験方法 2 に適用する試験機のうち、ひずみ解放後に試験片長さを測定する場合を除く。

試験方法 1 [伸び計を使用しない方法 (8.2 参照)] の場合、原標点距離及び塑性ひずみに達した後に試験力を解放した後の標点距離の測定装置は、 $\pm 0.01 \text{ mm}$ 以内の精度で測定可能でなければならない。試験片の原幅及び塑性ひずみに達した後に試験力を解放した後の幅を測定する装置は、 $\pm 0.01 \text{ mm}$ 以内の精度で測定可能でなければならない。

注記 1 **ISO 10113** では、試験方法 1 で試験片幅を測定するための計測器の精度は、 $\pm 0.005 \text{ mm}$ 以内と規定している。

試験方法 2 [伸び計だけを使用する方法 (8.3 参照)] の場合、長さ測定用の伸び計は、その使用範囲において **JIS B 7741** の等級 1 級又はそれより優れた性能とする。試験片の原幅及び塑性ひずみに達した後に試験力を解放した後の幅を測定する装置は、 $\pm 0.01 \text{ mm}$ 以内の精度で測定可能でなければならない。

注記 2 **ISO 10113** では、試験方法 2 で試験片幅を測定するための計測器の精度は、 $\pm 0.005 \text{ mm}$ 以内と規定している。

試験方法 3 [幅計及び伸び計を使用する方法 (8.4 参照)] の場合、長さ測定用の伸び計は、その使用範囲において **JIS B 7741** の等級 1 級又はそれより優れた性能とする。試験片の幅を測定する装置は、 $\pm 0.01 \text{ mm}$ 以内の精度で測定可能でなければならない。

注記 3 ISO 10113 では、試験方法 3 で試験片幅を測定するための計測器の精度は、 $\pm 0.1\%$ 以内と規定している。

注記 4 長い標点距離を使用して伸び計伸びを適用する場合には、伸び計の等級 1 級の最大誤差は、 $\pm 0.01 \text{ mm}$ を超えることがある。

試験片のつかみ方法は、JIS Z 2241 による。

7 試験片

試験片は、JIS Z 2241 の規定によるほか、次による。

- a) 試験片の採り方は、それぞれの材料規格の規定による。特に規定のない場合は、受渡当事者間の協定による。
- b) 試験片形状は、それぞれの材料規格による。特に規定のない場合は、通常、JIS Z 2241 の 5 号、13A 号又は 13B 号試験片のいずれかとする。
- c) 試験片平行部の幅の寸法変化（最大値と最小値との差）は、標点間において、平均幅の 0.1 % 以内とする。
- d) 標点間で均一ひずみ分布とするために、5 号、13A 号又は 13B 号試験片の平行部長さ下限値は、それぞれ 60 mm、90 mm 及び 57 mm としなければならない。

注記 ISO 10113 では、平行部長さは、 $L_0 + 2b_0$ 以上としている。

- e) 試験片の厚さは、特に規定のない場合は、材料の元の厚さのままとする。
- f) 試験片の表面は、試験結果に影響を及ぼすようなきずがあってはならない。

8 試験

8.1 一般

試験は、次による。

- a) 試験温度は、 $10 \text{ }^\circ\text{C} \sim 35 \text{ }^\circ\text{C}$ の範囲内とし、厳格に管理された条件下での試験が要求される場合は、 $(23 \pm 5) \text{ }^\circ\text{C}$ とする。ただし、材料規格に規定がある場合は、それによる。
- b) 試験片平行部の推定ひずみ速度²⁾は、 $0.008 / \text{s}$ 以下とする。ただし、材料規格に規定がある場合は、それによる。また、引張試験と併せて試験を実施する場合は、平行部の推定ひずみ速度²⁾は一定とし、その許容差は、 $\pm 20\%$ とする。ひずみ速度変更は、ひずみが 0.2 % 以上で、評価範囲に入る前に行うことが望ましい。

注記 表面に被覆（例えば、亜鉛めっき、有機被覆など）を行った材料の場合には、得られる塑性ひずみ比は、被覆のない状態の原板の値と異なることがある。

注²⁾ JIS Z 2241 の附属書 JB [ひずみ速度制御による試験速度（方法 A）] 参照。

- c) 試験後、試験片がその幅方向に反りなどが生じ（図 2 参照）、正確な幅測定ができない場合、試験結果に影響を及ぼす可能性があるため、試験は無効とみなし、試験をやり直さなければならない。
- d) 試験は、四つの異なった方法（8.2, 8.3, 8.4 及び附属書 JA 参照）で実施してよい。特に指定がない限り、方法の選択は、製造業者又は製造業者によって指定された試験所による。
- e) 異なる方法を用いた結果に差異がある場合は、その差異の原因を調査しなければならない。調査方法は、附属書 A を参考にすることが可能である。

f) 試験方法 1 (8.2 参照) を基準試験方法³⁾とする。

注³⁾ 疑義又は紛争を解決するための試験方法。

g) 塑性ひずみ比は、JIS Z 8401 の規則 A によって小数点以下第 1 位に丸める。

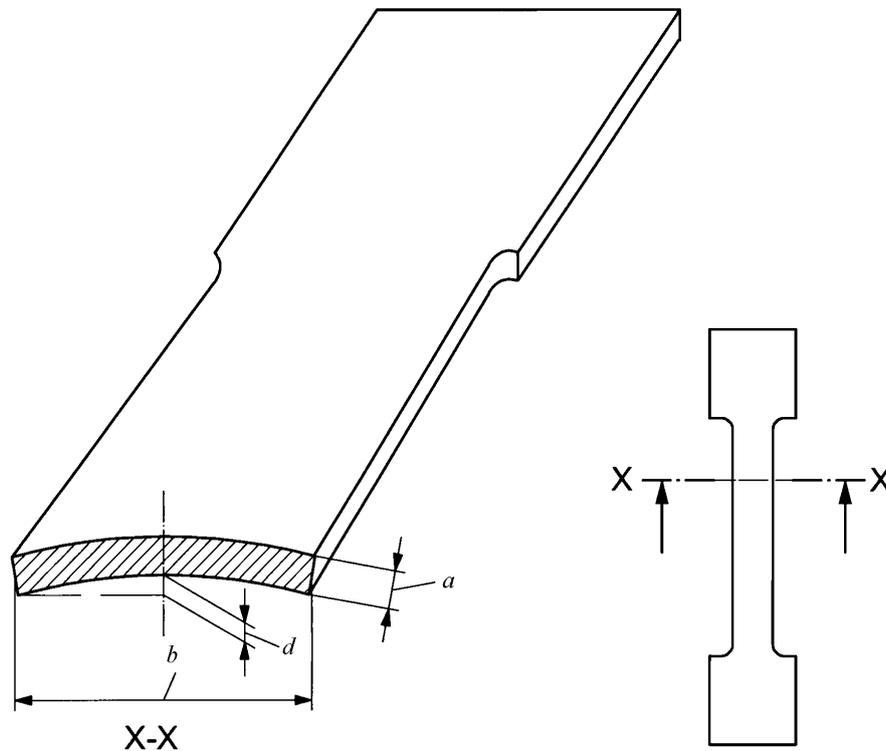
注記 ISO 10113 では、0.05 単位に丸めて報告すると規定している。

h) 圧延方向に対する試験片の方向及び塑性ひずみ比を測定する所定の塑性ひずみ量は、材料規格による。ただし、受渡当事者間に協定がある場合は、それによる。特に規定がない場合、標点距離及び塑性ひずみ量は、表 2 による。なお、いかなる材料においても、付加する塑性ひずみ量は、それぞれの材料の最大試験力時の塑性ひずみ A_g より小さくする。

表 2—標点距離及び塑性ひずみ量

試験片形状	標点距離 mm	塑性ひずみ量 %
5 号	20, 25, 50	10~20
13A 号	50, 80	10~20
13B 号	20, 25, 50	10~20

試験片形状 5 号又は 13B 号の標点距離は、20 mm 又は 25 mm とすることが望ましい。ただし、試験片形状 5 号又は 13B 号において、標点距離 50 mm を使用する場合、試験片幅測定は、均一なひずみ分布範囲内の 1 箇所以上で行うこととし、このとき得られる塑性ひずみ比と標点距離 20 mm 又は 25 mm としたときに得られる塑性ひずみ比との差が 0.1 以下とする。



記号説明

a: 所定の塑性ひずみを加えた後の試験片の厚さ

b: 所定の塑性ひずみを加えた後の試験片幅

d: 幅方向の反り

図 2—試験片断面の幅方向反りの概略図

8.2 伸び計を使用しない方法（試験方法 1）

8.2.1 一般

この方法は、塑性ひずみを与える前後の長さ及び幅に対して、伸び計及び幅計を用いない測定に基づいている。

8.2.2 試験

原標点距離 L_0 には、 $\pm 1.0\%$ の精度で明瞭なマーク又はけがき線で印を付ける。

試験片の原幅は、標点の位置に近い各 1 点の測定を含み、標点距離内で等間隔に少なくとも 3 点で ± 0.01 mm 以内の精度で測定する。塑性ひずみ比の計算には、これらの幅測定値の算術平均を使用する。

試験片を試験機に取り付け、所定のひずみを与え、解放する。

注記 この方法を使用する場合、ひずみを与える前に予備試験力をかける必要はない。

ひずみ解放後、試験片の標点距離 L_1 と幅 b_1 を、原標点距離及び試験片の原幅の場合と同じ方法及び同じ精度で測定する。

8.2.3 評価

個々の試験の塑性ひずみは、式(6)による。

$$e_{p.L} = \frac{(L_1 - L_0)}{L_0} \times 100 \quad \dots\dots\dots (6)$$

塑性ひずみ比は、式(7)による。

$$r = \frac{\ln\left(\frac{b_1}{b_0}\right)}{\ln\left(\frac{L_0 b_0}{L_1 b_1}\right)} \quad \dots\dots\dots (7)$$

この塑性ひずみ比決定法は、塑性ひずみが均一である場合にだけ有効である。

8.3 伸び計だけを使用する方法（試験方法 2）

8.3.1 一般

この方法は、伸び計による長さ測定及び手動による幅測定との組み合わせに基づいている。幅測定は、自動化された幅測定装置を用いてもよい。

8.3.2 試験

伸び計標点距離の原標点距離に対する誤差が、 1% 以内であれば、伸び計標点距離を規定の原標点距離としてもよい。

試験片の原幅は、標点の位置に近い各 1 点の測定を含み、標点距離内で等間隔に少なくとも 3 点で ± 0.01 mm 以内の精度で測定する。塑性ひずみ比の計算には、これらの幅測定値の算術平均を使用する。

試験片を試験機に取り付け、所定のひずみを与えた後、試験力を解放する。試験片寸法の長さ測定は、試験力解放前後のいずれでもよい。

試験力解放後、幅 b_1 は、試験片の原幅の場合と同じ方法及び同じ精度で測定する。

この塑性ひずみ比決定法は、塑性ひずみが均一である場合にだけ有効である。

試験片及び試験片つかみ装置の位置合わせを確実にするために、小さな予備試験力を使用してもよい。予備試験力は、規定された又は予想される耐力の 5 % に相当する値以下とする。予備試験力の影響を考慮するために、伸び計信号のゼロ補正を実施することが望ましい。

8.3.3 評価

ひずみを解放する前に長さを測定する場合、個々の試験の塑性ひずみ及び塑性ひずみ比は、それぞれ式(8)及び式(9)による。

$$e_{p,L} = \left(\frac{\Delta L}{L_e} - \frac{F}{S_0 \cdot m_E} \right) \times 100 (\%) \quad \dots\dots\dots (8)$$

$$r = \frac{\ln\left(\frac{b_1}{b_0}\right)}{-\ln\left(1 + \frac{e_{p,L}}{100}\right) - \ln\left(\frac{b_1}{b_0}\right)} \quad \dots\dots\dots (9)$$

ひずみを解放した後に長さを測定する場合は、式(6)及び式(7)による。

8.4 幅計及び伸び計を使用する方法 (試験方法 3)

8.4.1 一般

この方法は、伸び計による長さ測定及び幅計による幅減少測定に基づいている。

8.4.2 試験

一般に、この方法は、他の引張試験特性を求めるための標準的な引張試験方法と併せて使用される。したがって、試験片は、 A_g 又は破断まで連続的にひずみを与えられる。

伸び計標点距離の原標点距離に対する誤差が、1 % 以内であれば、伸び計標点距離を規定の原標点距離としてもよい。

この試験方法によって、使用者は、複数の塑性ひずみ量におけるそれぞれのひずみ比を測定することが可能である。また、試験中の塑性ひずみ範囲での塑性ひずみ比を測定するためにも使用することが可能である。

不均一挙動を示す材料 (例えば、Portevin-Le Chatelier 効果を示す物質) については、塑性ひずみ比の測定に回帰による方法 (8.4.3.3 参照) を用いることが望ましい。試験片の原幅は、標点の位置に近い各 1 点の測定を含み、標点距離内で等間隔に少なくとも 3 点で ± 0.01 mm 以内の精度で測定する。塑性ひずみ比の計算には、これらの幅測定値の算術平均を使用する。

試験は、幅減少測定のために幅計を用いる。引張試験と同時に実施する場合は、JIS Z 2241 に従って実施する。塑性ひずみ比の計算には、幅測定値の算術平均を使用する。幅測定は、1 点でもよい。

試験片及び試験片つかみ装置の位置合わせを確実にするために、小さな予備試験力を使用してもよい。

予備試験力は、規定された又は予想される耐力の5%に相当する値を超えてはならない。予備試験力の影響を考慮するために、伸び計信号のゼロ補正を実施することが望ましい。

8.4.3 評価

8.4.3.1 一般

降伏現象のない材料の評価開始点は、塑性変形を開始した後、かつ、試験片平行部の推定ひずみ速度が引張強さ R_m を決定するための最終的な速度に達した後でなければならない。

降伏点（上降伏点及び/又は下降伏点）を示す材料の評価開始点は、降伏が終了した後、均一な加工硬化を開始し、かつ、試験片平行部の推定ひずみ速度が引張強さ R_m を決定するための最終的な速度に達した後でなければならない。

最大試験力時の塑性ひずみ A_g 到達後は、塑性ひずみ比の評価を行わない。

試験片の長さ方向の真塑性ひずみは、式(10)による。

$$\varepsilon_{p,L} = \ln \left[\left(\frac{L_e + \Delta L}{L_e} \right) - \frac{F}{S_0 \cdot m_E} \right] \dots \dots \dots (10)$$

試験片の幅方向の真塑性ひずみは、式(11)による。

$$\varepsilon_{p,b} = \ln \left(\frac{b_0 - \Delta b}{b_0} + \frac{v \cdot F}{S_0 \cdot m_E} \right) \dots \dots \dots (11)$$

長さ方向の塑性ひずみは、式(8)による。

注記 式(12)による瞬時断面積 S_i のより正確な近似を、原断面積 S_0 の代わりに使用して、長さ方向の真塑性ひずみ $\varepsilon_{p,L}$ 、幅方向の真塑性ひずみ $\varepsilon_{p,b}$ 及び塑性ひずみ ε_L を計算することが可能である。実際には、 S_0 又は S_i で得られた結果に有意差がないことが証明されているため、式(8)、式(10)及び式(11)で用いた原断面積 S_0 を用いている。

$$S_i = \frac{S_0 \cdot L_0}{(L_0 + \Delta L)} \dots \dots \dots (12)$$

塑性ひずみ比の計算は、次の二つの異なった方法（8.4.3.2 及び 8.4.3.3 参照）によってよい。相変態挙動を示す材料については、回帰法を用いてはならない。

8.4.3.2 単一点による方法 (Single point method)

全ての試験データ列（力、伸び計伸び及び幅計の減幅値）に対して、式(13)に式(10)及び式(11)を併せて用いて、その列の塑性ひずみ比を計算してもよい。

$$r = - \frac{\varepsilon_{p,b}}{\varepsilon_{p,b} + \varepsilon_{p,L}} \dots \dots \dots (13)$$

注記 1 この一連の塑性ひずみ比は、式(8)によって計算された試験片長さ方向の塑性ひずみに対してプロットすることが可能である（例えば、図 A.4 参照）。

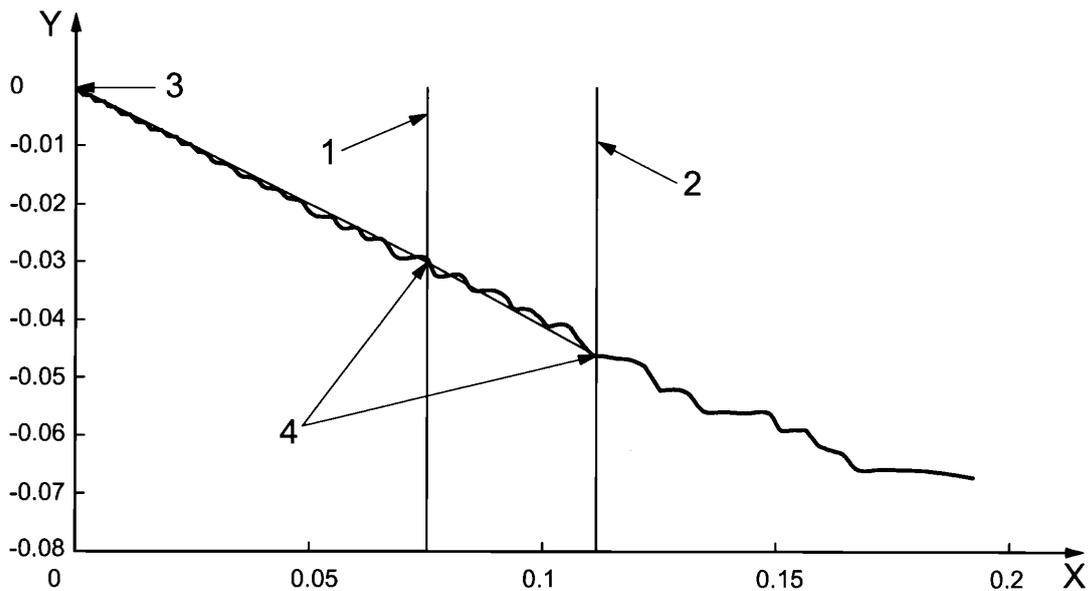
注記 2 この手法によると、連続したデータ点から求めた塑性ひずみ比が大きくばらつく可能性がある。したがって、8.4.3.3 に規定した回帰法を用いることが有益である。

8.4.3.3 回帰による方法

この手法は、所定の範囲の測定データ及び試験前の試験片の寸法に基づいて、信頼できる塑性ひずみ比を計算するために用いられる。

所定の範囲で、 $\epsilon_{p,b}$ [式(11)参照] と $\epsilon_{p,L}$ [式(10)参照] とを原点を通るように直線回帰する (図 3 参照)。この回帰線の傾き m_r は、 $[-r/(1+r)]$ となる。塑性ひずみ比は、式(14)による。

$$r = -\frac{m_r}{1 + m_r} \dots\dots\dots (14)$$



記号説明

- X : 試験片長さ方向の真塑性ひずみ, $\epsilon_{p,L}$
- Y : 試験片幅方向の真塑性ひずみ, $\epsilon_{p,b}$
- 1 : 下限 : 例えば, 8 % 塑性ひずみ
- 2 : 上限 : 例えば, 12 % 塑性ひずみ
- 3 : 試験開始点
- 4 : 試験開始点を通る, 下限及び上限間の直線回帰

$$\begin{aligned} \epsilon_{p,b} &= m_r \times \epsilon_{p,L} \\ m_r &= -0.39833 \\ r_{8-12} &= 0.662 \end{aligned}$$

注記 上下限値は、塑性ひずみで表され、X 軸は、長さ方向の真塑性ひずみを表している。

図 3—試験片の幅方向の真塑性ひずみと長さ方向の真塑性ひずみとの関係の例

注記 この手法を用いれば、(特に不均一挙動を示す材料の場合) 塑性ひずみ比の値は、より安定する。その理由は、計算が、単一点のデータだけでなく、試験前の試験片の寸法測定及び評価範囲の全ての測定データに基づいているからである。複数の評価範囲によって、この手法は、信頼できる塑性ひずみ比を与える可能性がある。同一タイミングの複数範囲のデータは、長さ方向の塑性ひずみに対する塑性ひずみ比のプロットの信頼性を更に高めることに役立つ可能性がある。

9 追加試験結果

異方性（圧延方向に対して平行， 45° 及び 90° ）の試験片に対して試験を行うと，式(3)及び式(4)によって平均塑性ひずみ比 \bar{r} 及び面内異方性 Δr を求めることが可能である。

10 報告

試験報告書が必要な場合には，報告する事項は，次のうちから受渡当時者間の協定によって選択する。

- a) この規格に従って試験したことの記述（例えば，JIS Z 2254）
- b) 試験片の識別
- c) 試験方法（試験方法 1，試験方法 2，試験方法 3 又は固有振動法）
- d) 試験方法 3 による場合，評価方法（単一点による方法又は回帰による方法）
- e) 使用した試験片の形状及び標点距離
- f) 試験片の圧延方向に対する角度
- g) 測定及び評価を行った塑性ひずみ量又は塑性ひずみ範囲

例 $r_{45/10}$ ：圧延方向に対する試験片の角度 45° /塑性ひずみ量 10 % での単一点による方法

$r_{45/8-12}$ ：圧延方向に対する試験片の角度 45° /塑性ひずみ範囲 8 %～12 % の間の回帰による方法

- h) 試験結果
- i) \bar{r} 及び Δr の計算に用いた式 [式(3)及び式(4)と異なる場合]

附属書 A (参考)

塑性ひずみ比測定の影響要因の調査方法

A.1 一般

塑性ひずみ比の測定は、様々なパラメータに非常に敏感に影響されることがある。この附属書では、これらの誤差の幾つかについて説明し、分析することを目的としている。

可能性のある影響を以下に示す。

- 異なる試験方法及び評価方法
- 試験片と試験力付加方向のアライメント
- 試験片の準備 [例えば、試験片の表面 (端面)]
- 試験片の幅の“実際の”変化と信号との相関関係
- 伸び計標点距離、伸び計取り付け位置及び伸び計の種類 (伸び計取り付け位置が、試験片円弧状肩部付近か、又は中心部か。測定が、同一線上か、又は複数線上か。)
- 試験片表面と伸び計標点距離との相対移動誤差
- 幅計のセトリング影響 (settling effect) (A.2 参照)
- 振動や温度変化などの試験室の条件
- 試験片の不均一な変形 (例えば、Portevin-Le Chatelier 影響)

A.2 セトリング影響と表示の指針

セトリング影響は、試験の開始時にしばしば発生する。これによって、伸び計信号は、試験片上のひずみを示さずに、見掛け上の正又は負のひずみを示すという結果をもたらす。セトリングの原因の例としては、試験片の曲がり、ねじれ及び反り、並びに試験力のミスアライメントが挙げられる (A.1 も参照)。

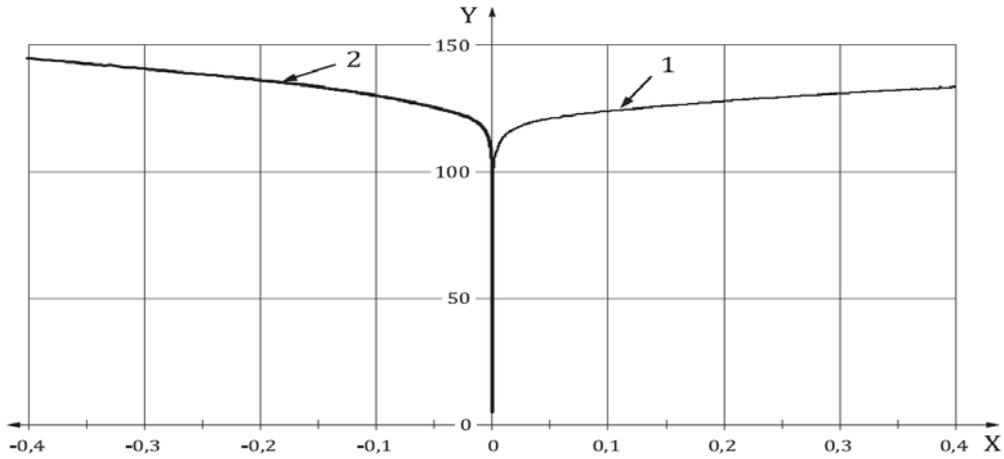
弾性域では塑性変形が生じないという理論に基づいて、次の方法によって、これらのセトリング影響をどのように明らかにできるかが説明される。比例限界までは、塑性ひずみは“0”のはずである。長さ方向の塑性ひずみの計算については、8.3.3 の式(8)を参照し、幅方向の塑性ひずみは、式(A.1)による。

$$e_{p,b} = \left(-\frac{\Delta b}{b_0} + \frac{v \cdot F}{S_0 \cdot m_E} \right) \times 100 \quad \dots\dots\dots (A.1)$$

これによって、長さ方向の塑性ひずみ及び幅方向の塑性ひずみを応力に対してグラフ表示することが可能である。この例を図 A.1、図 A.2 及び図 A.3 に示す。長さ方向の塑性ひずみ及び幅方向の塑性ひずみのグラフでは、比例限界までの塑性ひずみの値が“0”の垂直線になるはずである。

セトリング影響が発生すると、長さ方向の塑性ひずみ及び/又は幅方向の塑性ひずみは、明らかに“0”とは異なる。このグラフ表示によって、視覚的な検出が可能になる。

図 A.1、図 A.2、及び図 A.3 に、三つの異なる例を示す。



記号説明

X : 塑性ひずみ (%)

Y : 応力 R (MPa)

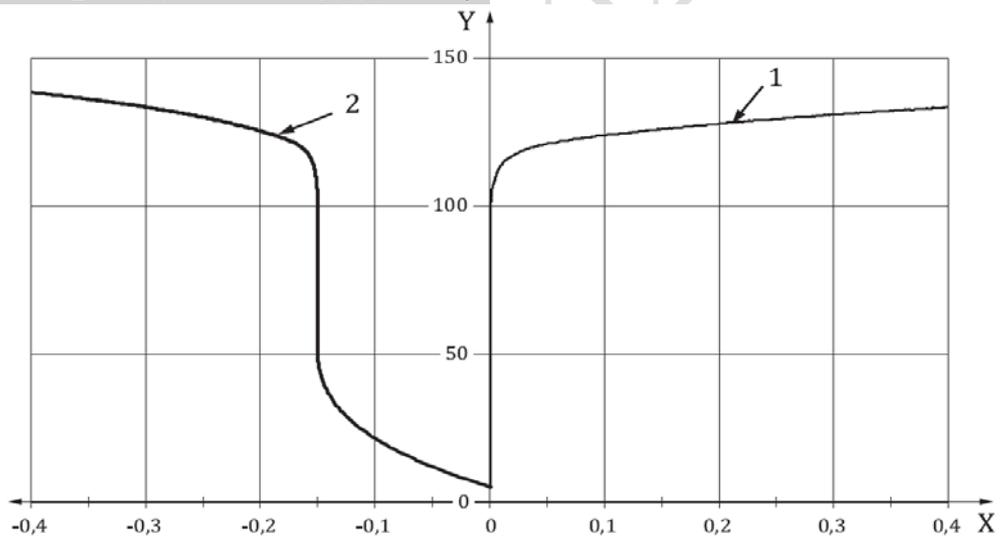
注記 セトリング影響は、見られない。

1 : 長さ方向の塑性ひずみ $e_{p,L}$

2 : 幅方向の塑性ひずみ $e_{p,b}$

図 A.1—塑性ひずみ値量“0”近傍で垂直線となる長さ方向の塑性ひずみ及び幅方向の塑性ひずみ

図 A.2 と図 A.3 に示されているセトリング影響は、塑性ひずみ量の誤った調整、又は塑性ひずみ比の過大評価若しくは過小評価につながる可能性がある。



記号説明

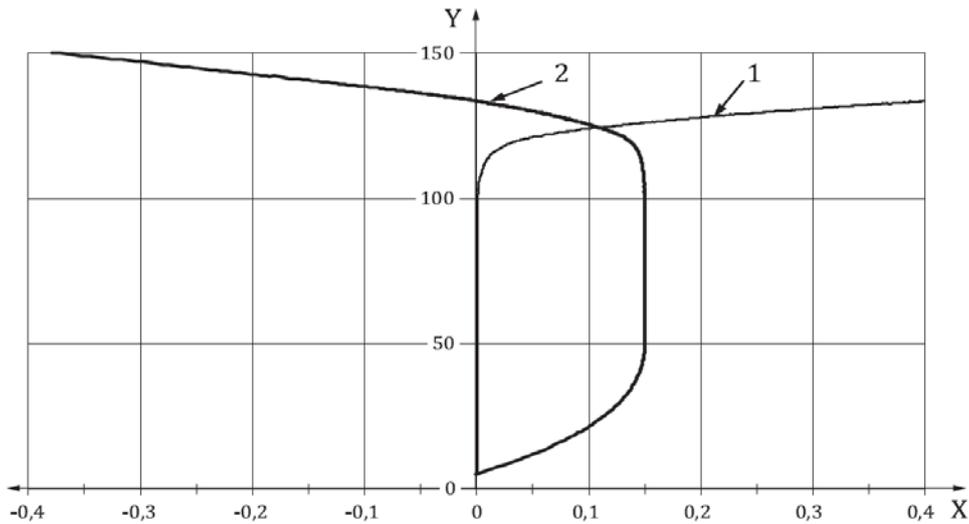
X : 塑性ひずみ (%)

Y : 応力 R (MPa)

1 : 長さ方向の塑性ひずみ $e_{p,L}$

2 : 幅方向の塑性ひずみ $e_{p,b}$

図 A.2—幅方向の塑性ひずみが負にずれて、より大きな見掛け上の幅変化を示している塑性ひずみ
(塑性ひずみ比は、より大きな値となる。)



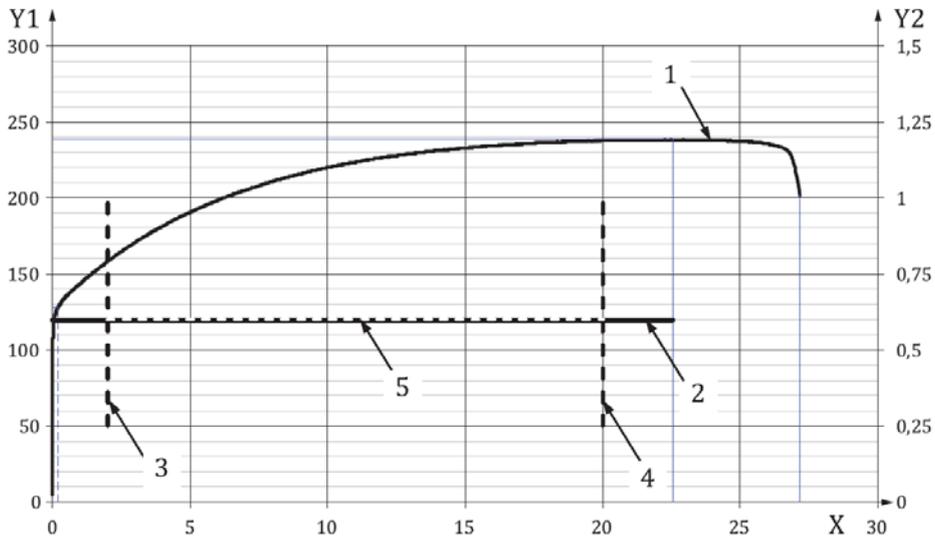
記号説明

X : 塑性ひずみ (%)
 Y : 応力 R (MPa)

1 : 長さ方向の塑性ひずみ $e_{p,L}$
 2 : 幅方向の塑性ひずみ $e_{p,b}$

図 A.3—幅方向の塑性ひずみが正にずれて、より小さな見掛け上の幅変化又は幅広がりを示している塑性ひずみ (塑性ひずみ比は、より小さい値となる。)

図 A.4, 図 A.5 及び図 A.6 は、塑性ひずみ比対長さ方向塑性ひずみの関係を進展させた状況を示している。これらのグラフは、人為的に塑性ひずみ比を一定の 0.6 と仮定し、加えて、図 A.1, 図 A.2 及び図 A.3 のセトリング影響があるという仮定に基づいている。

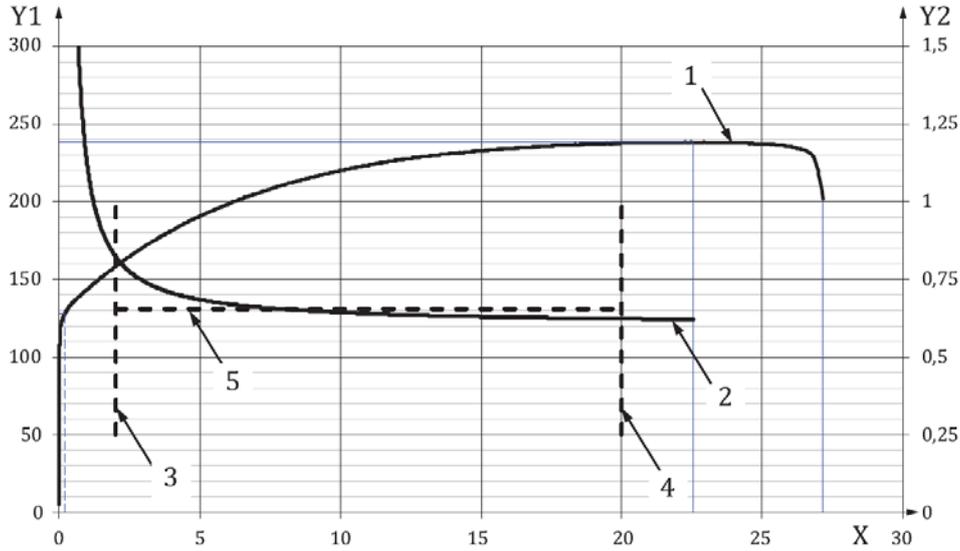


記号説明

X : 塑性ひずみ (%)
 Y1 : 応力 R (MPa)
 Y2 : 瞬時塑性ひずみ比 (instantaneous r-value)
 1 : 応力対長さ方向塑性ひずみ

2 : 単一点の塑性ひずみ比と長さ方向塑性ひずみとの関係
 3 : 範囲下限 (2%長さ方向塑性ひずみ)
 4 : 範囲上限 (20%長さ方向塑性ひずみ)
 5 : 算術平均塑性ひずみ比 (2%~20%長さ方向塑性ひずみ, この例では, $r_{2-20}=0.600$)

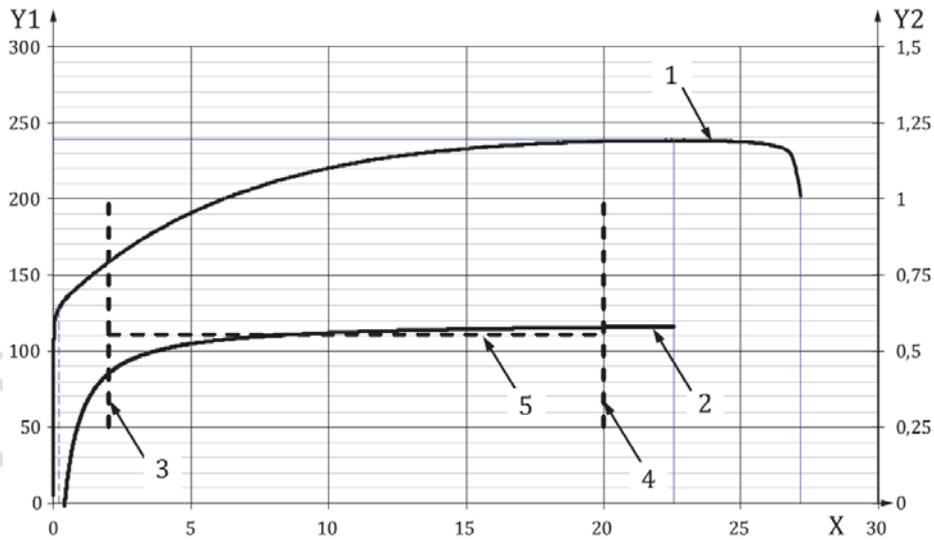
図 A.4—図 A.1 のデータ及び人為的に塑性ひずみ比を一定の 0.6 としたときの塑性ひずみ比と長さ方向塑性ひずみとの関係



記号説明

- | | |
|---------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| X : 塑性ひずみ (%) | 2 : 単一点の塑性ひずみと長さ方向塑性ひずみとの関係 |
| Y1 : 応力 R (MPa) | 3 : 範囲下限 (2%長さ方向塑性ひずみ) |
| Y2 : 瞬時塑性ひずみ比 (instantaneous r-value) | 4 : 範囲上限 (20%長さ方向塑性ひずみ) |
| 1 : 応力と長さ方向塑性ひずみとの関係 | 5 : 算術平均塑性ひずみ比 (2%~20%長さ方向塑性ひずみ, この例では, $r_{2-20}=0.653$) |

図 A.5—図 A.2 のデータ及び人為的に塑性ひずみ比を一定の 0.6 としたときの塑性ひずみ比と長さ方向塑性ひずみとの関係



記号説明

- | | |
|---------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| X : 塑性ひずみ (%) | 2 : 単一点の塑性ひずみ比と長さ方向塑性ひずみとの関係 |
| Y1 : 応力 R (MPa) | 3 : 範囲下限 (2%長さ方向塑性ひずみ) |
| Y2 : 瞬時塑性ひずみ比 (instantaneous r-value) | 4 : 範囲上限 (20%長さ方向塑性ひずみ) |
| 1 : 応力と長さ方向塑性ひずみとの関係 | 5 : 算術平均塑性ひずみ比 (2%~20%長さ方向塑性ひずみ, この例では, $r_{2-20}=0.552$) |

図 A.6—図 A.3 のデータ及び人為的に塑性ひずみ比を一定の 0.6 としたときの塑性ひずみ比と長さ方向塑性ひずみとの関係

A.3 自動チェックの実施

高度なソフトウェアを用いる試験機では、試験中の任意の瞬間における幅方向塑性ひずみ及び長さ方向塑性ひずみを測定することが可能かもしれない。その場合、セトリング影響が発生すると、弾性域が終わるまでに試験を中断したり、停止したりすることが可能かもしれない。これによって、試験片に永久変形を生じさせて、不正確な試験結果を得てしまうことなく、セトリング影響を発見することが可能であるので好都合である。

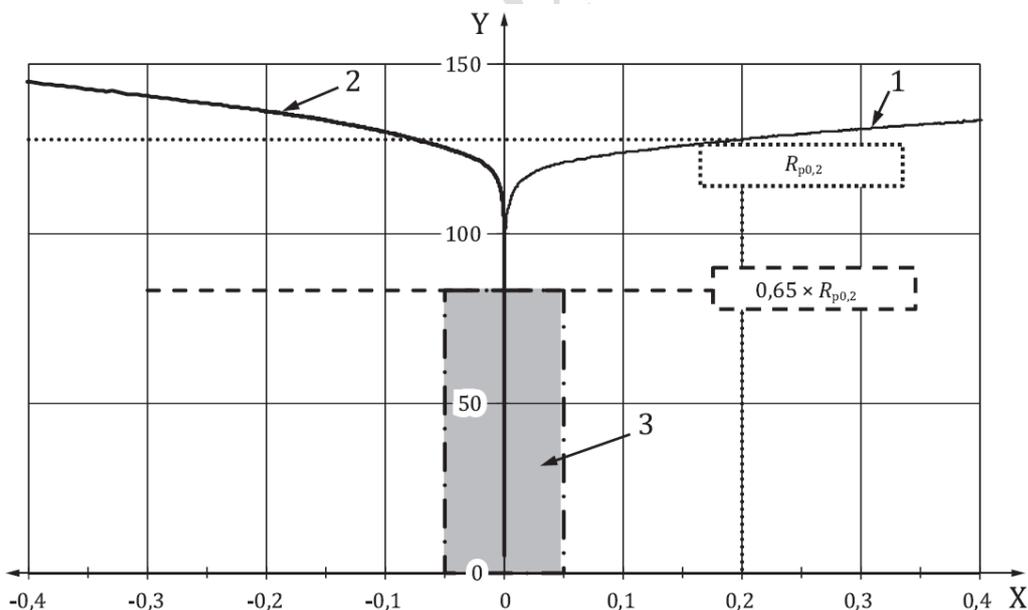
$R_{p0.2}$ の予測値が分かっている場合は、例えば、 $R_{p0.2}$ の 65 % までの長さ方向塑性ひずみ及び幅方向塑性ひずみを監視するのがよい。予想される塑性ひずみは、“0” に近いことが望ましく、試験を中断又は停止させるための適切な“0”からの許容差は、利用者の決定による。

これらの結果に基づく試験機の制御が望めない場合の代替方法は、事後確認によって、幅方向塑性ひずみ又は長さ方向塑性ひずみのいずれかが弾性域で“0”でないかどうかを調査し、更にその不一致の原因を調査することを操作者に助言することである。その際、許容差が有効である可能性がある。

次の例では、使用される基準を示している。

- 弾性域の終点： $R_{p0.2}$ の 65 %
- 上記の終点までの範囲で許容される幅方向塑性ひずみの偏差： ± 0.05 %

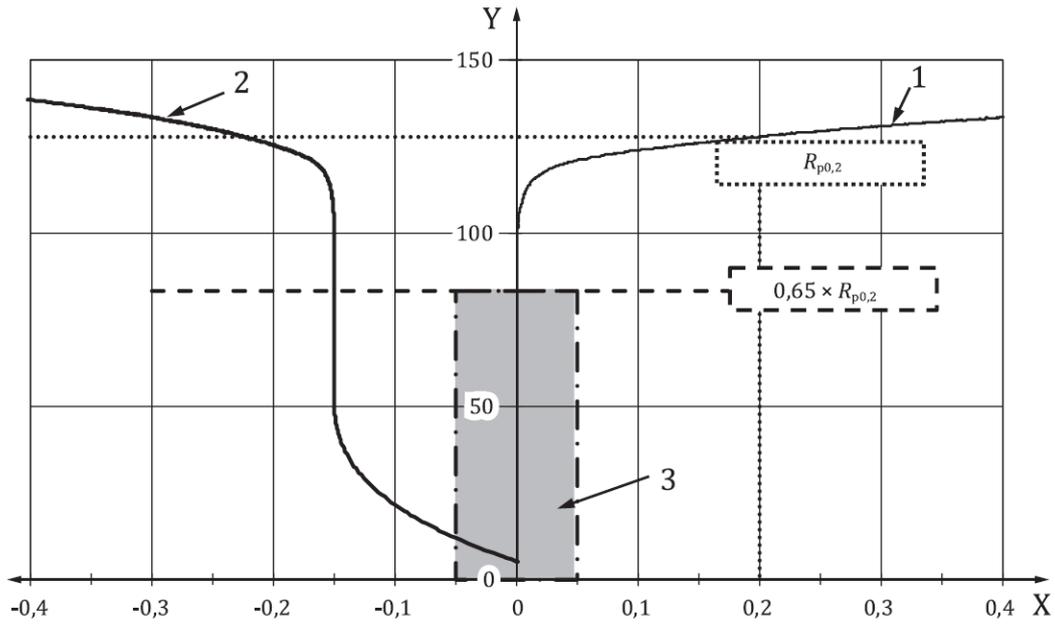
図 A.1、図 A.2、及び図 A.3 の例の合否について、図 A.7、図 A.8、及び図 A.9 に図示している。



記号説明

- | | |
|-------------------------|------------------------|
| X : 塑性ひずみ (%) | 2 : 幅方向塑性ひずみ $e_{p,b}$ |
| Y : 応力 R (MPa) | 3 : “0” からの許容偏差の領域 |
| 1 : 長さ方向塑性ひずみ $e_{p,L}$ | |

図 A.7—選択した合格基準（65 % $R_{p0.2}$ 及び ± 0.05 %塑性ひずみ）を図示した図 A.1 の例



記号説明

X : 塑性ひずみ (%)

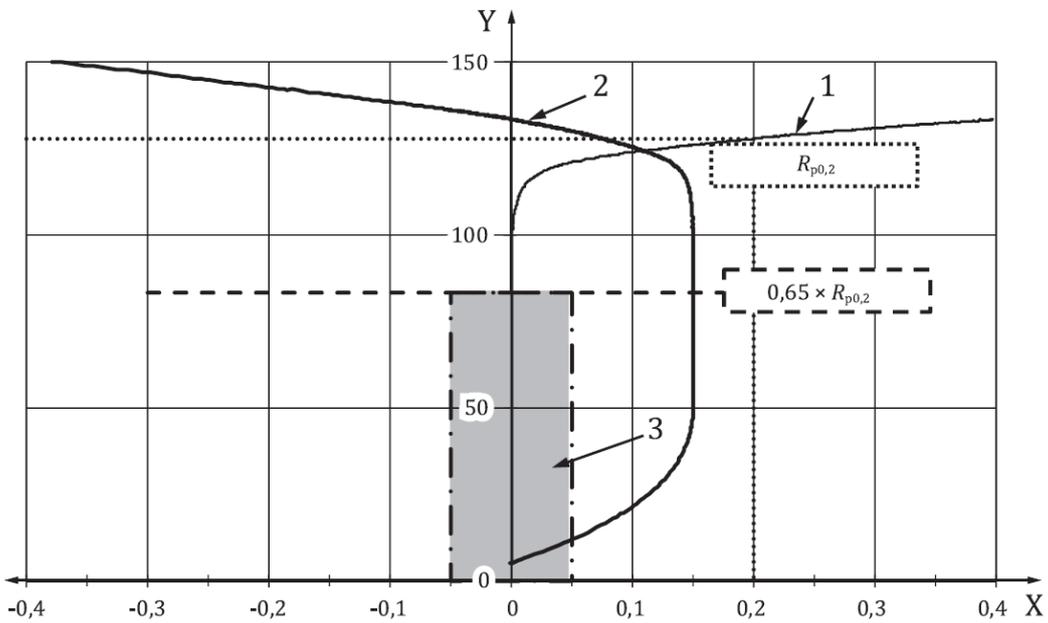
Y : 応力 R (MPa)

1 : 長さ方向塑性ひずみ e_{pL}

2 : 幅方向塑性ひずみ e_{pb}

3 : “0” からの許容偏差の領域

図 A.8—選択した合格基準 ($65\%R_{p0.2}$ 及び $\pm 0.05\%$ 塑性ひずみ) を図示した図 A.2 の例



記号説明

X : 塑性ひずみ (%)

Y : 応力 R (MPa)

1 : 長さ方向塑性ひずみ e_{pL}

2 : 幅方向塑性ひずみ e_{pb}

3 : “0” からの許容偏差の領域

図 A.9—選択した合格基準 ($R_{p0.2}65\%$ 及び $\pm 0.05\%$ 塑性ひずみ) を図示した図 A.3 の例

附属書 JA (規定) 固有振動法

JA.1 一般

日本産業規格の材料規格に試験方法の種類が指定がなく、対象材料がステンレス鋼を除く薄鋼板及び鋼帯の場合には、平均塑性ひずみ比は、この附属書に規定する固有振動法によってもよい。

JA.2 試験の原理

磁わい（歪）振動方式の共振法などによって平均ヤング率¹⁾を求め、これと引張試験によって求める平均塑性ひずみ比との相関が強いことを利用して、統計的解析によって得られている回帰式を用いて間接的に平均塑性ひずみ比を求める。

注記 磁わい振動方式の共振法による場合は、試験の対象は、強磁性体の材料とする。

注¹⁾ ヤング率は、弾性域における応力 (F/S_0) とひずみとの比である。

JA.3 試験装置

試験装置は、通常、**図 JA.1** のように構成され、励振コイルで試験片に高周波振動を加えて、検出コイルで共振周波数の検出が可能である。

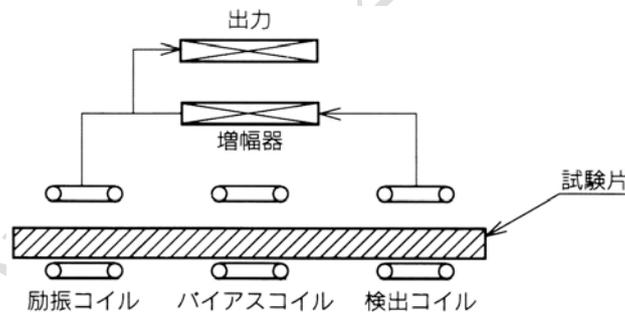


図 JA.1—固有振動法による共振周波数測定装置の構成例

JA.4 試験片

試験片は、次による。

- 試験片の採り方は、それぞれの材料規格の規定による。特に規定のない場合は、受渡当事者間の協定による。
- 試験片は、それぞれの測定器で定められた試験片を用いる。ただし、寸法の許容差は、 ± 0.025 mm とする。

JA.5 試験

試験は、次による。

- a) **試験温度** 試験温度は、10℃～35℃の範囲内とし、厳格に管理された条件下での試験が要求される場合は、(23±5)℃とする。
- b) **試験片長さの測定** 試験片長さを±0.025 mm以内の精度で測定する。ただし、試験片の加工精度が寸法の許容差(±0.025 mm)内に十分管理されている場合は、呼び長さを用いてもよい。
- c) **試験片の共振周波数の測定** 板面の圧延方向に対して平行、45°及び90°各方向から採取した試験片の共振周波数を、JA.3の試験装置を用いて整数位まで測定する。
- d) **平均塑性ひずみ比の算出** 平均塑性ひずみ比の計算手順は、次による。
- 1) 板面の圧延方向に対して平行、45°及び90°各方向から採取した試験片のヤング率 E_x は、式(JA.1)による。

$$E_x = 4\rho l^2 f^2 \dots\dots\dots (JA.1)$$

ここで、 E : ヤング率 (MPa)
 ρ : かさ密度 (7.87 g/cm³)
 l : 試験片の長さ (mm)
 f : 共振周波数 (Hz)
 x : 板面の圧延方向に対する角度 (°)

注記 1 MPa=1 N/mm²

- 2) 平均ヤング率は、式(JA.2)によって計算し、有効数字4桁に丸める。数値の丸め方は、JIS Z 8401の規則Aによる。

$$\bar{E} = \frac{E_0 + 2E_{45} + E_{90}}{4} \dots\dots\dots (JA.2)$$

ここで、 E_0 : 試験片を板面の圧延方向に対し平行に採取し測定したヤング率 (MPa)
 E_{45} : 試験片を板面の圧延方向に対し45°方向に採取し測定したヤング率 (MPa)
 E_{90} : 試験片を板面の圧延方向に対し90°方向に採取し測定したヤング率 (MPa)

- 3) 平均塑性ひずみ比は、平均ヤング率を用いて式(JA.3)によって計算し、小数点以下第1位に丸める。数値の丸め方は、JIS Z 8401の規則Aによる。

$$\bar{r} = \frac{101.44}{(145.0 \times \bar{E} \times 10^{-6} - 38.83)^2} - 0.564 \dots\dots\dots (JA.3)$$

- 4) 固有振動法によって得られた試験値に疑義が生じた場合は、引張試験による試験方法を標準試験方法とする。

JA.6 塑性ひずみ比による平均塑性ひずみ比の校正及び補正

引張試験による平均塑性ひずみ比を用いて校正曲線を作成し、固有振動法による平均塑性ひずみ比を補正する。ただし、両者の差が0.1以内の場合は、補正しなくてもよい。

附属書 JB
(参考)
JIS と対応国際規格との対比表

JIS Z 2254		ISO 10113 : 2020 (MOD)		
a) JIS の箇条番号	b) 対応国際規格の対応する箇条番号	c) 箇条ごとの評価	d) JIS と対応国際規格との技術的差異の内容及び理由	e) JIS と対応国際規格との技術的差異に対する今後の対策
1	1	追加	JIS では、適用範囲に 附属書 JA を追加した。	JIS 独自の附属書である。
3	3	追加	JIS では、鉄鋼用語（試験）の引用を追加した。	技術的な差異は軽微である。
		修正	JIS では、塑性変形の中に相変化を示す材料について、測定手順を受渡当事者間で協議することが望ましいに修正した。	ISO への提案を検討する。
		追加	JIS では、式(3)は、塑性ひずみ量に替えて、塑性ひずみ範囲を適用できることを追加した。	ISO への提案を検討する。
		修正	JIS では、異方性についての塑性ひずみ、試験方法及び評価方法の規定を追加試験結果の箇条から、用語及び定義の注釈に集約した。	技術的な差異は軽微である。
4	4	追加	試験片の幅及び標点距離をそれぞれ原幅及び原標点距離ということを追加した。	技術的な差異は軽微である。
		追加	JIS では、代表的な素材のポアソン比を例として追記した。	技術的な差異は軽微である。
5	5	追加	JIS では、材料規格に規定がない場合の塑性ひずみ量について、追加した。	ISO への提案を検討する。
6	6	変更	試験方法の名称として、手動、半自動及び自動は、日本での試験方法の概念から、必ずしもふさわしくないため、JIS では、それぞれ試験方法 1、試験方法 2 及び試験方法 3 と変更した。	技術的な差異は軽微である。
		追加	試験方法 1 に適用する試験機、及び試験方法 2 に適用する試験機のうち、ひずみ解放後に試験片長さを測定する場合は、JIS B 7721 は適用しないことを追加した。	ISO への提案を検討する。
		変更	JIS では、多くの自動測定機で±0.01 mm の測定精度のものが利用されている実態を反映した。	ISO への提案を検討する。
7	7	追加	JIS では、使用する試験片を具体的に規定した。	技術的な差異は軽微である。
		変更	JIS では、試験片の平行部長さ下限値を試験片ごとに指定した。	ISO への提案を検討する。
8	8	変更	試験方法の名称として、手動、半自動及び自動は、日本での試験方法の概念から、必ずしもふさわしくないため、JIS では、それぞれ試験方法 1、試験方法 2 及び試験方法 3	技術的な差異は軽微である。

			と変更した。	
		変更	試験方法 2 において、試験片長さ測定は、ひずみ解放前後のいずれでもよいことにした。 また、その評価式について、ひずみ解放後の場合は、式(6)及び式(7)によることを追加した。	ISO への提案を検討する。
		変更	JIS では、塑性ひずみ比を試験する、材料の降伏後のひずみ速度は、引張試験に合わせて、推定ひずみ速度とした。	ISO への提案を検討する。
		追加	JIS では、ひずみ速度について、材料規格の規定がある場合、それによることを追加した。	技術的な差異は軽微である。
		変更	JIS では、実施してよい試験方法に、 附属書 JA の固有振動法を追加して、四つの異なった方法とした。	JIS 独自法への対応である。
		変更	JIS では、 附属書 A の調査方法について、参考に位置付けた。	附属書 A は、参考であり、技術的な差異は軽微である。
		追加	JIS では、試験方法 1 を基準試験方法と位置づけた。	ISO への提案を検討する。
		追加	JIS では、標点距離及び塑性ひずみ量が、材料規格又は受渡当事者間の協定がない場合に採用する値を追加した。	ISO への提案を検討する。
		追加	JIS では、伸び計標点距離を原標点距離としてよい条件を追加した。	ISO への提案を検討する。
	10	変更	JIS では、丸めは JIS Z 8401 により、小数第 1 位に丸める（対応国際規格では、 ISO 80000-1 により、0.05 単位）ことにした。	特になし。
9	9	変更	対応国際規格では、丸めを 0.05 単位としているが、JIS では、材料規格の規定に合わせて、0.1 単位とした。	ISO への提案を検討する。
10	10	変更	JIS では、報告事項は、受渡当事者間で選択可能とした。	ISO への提案を検討する。
		追加	JIS では、試験方法に、 附属書 JA の固有振動法を追加した。	JIS 独自法への対応である。
		追加	JIS では、評価方法の報告は、試験方法 3 の場合を追加し、具体的に、単一点による方法及び回帰による方法を追加した。	ISO への提案を検討する。
<p>注記 1 箇条ごとの評価欄の用語の意味を、次に示す。</p> <ul style="list-style-type: none"> － 追加：対応国際規格にない規定項目又は規定内容を追加している。 － 変更：対応国際規格の規定内容又は構成を変更している。 <p>注記 2 JIS と対応国際規格との対応の程度の全体評価の記号の意味を、次に示す。</p> <ul style="list-style-type: none"> － MOD：対応国際規格を修正している。 				