

プラスチック—曲げ特性の試験方法

Plastics—Determination of flexural properties

日本工業規格としてのまえがき

この規格は、ISO 178 : 1993 (Plastics—Determination of flexural properties) を翻訳し、技術的内容及び規格票の様式を変更することなく作成した日本工業規格である。

なお、この規格で下線（点線）を施してある箇所は、原国際規格にはない事項である。

1. 適用範囲

1.1 本規格は、定められた条件下でのプラスチックの曲げ特性の試験方法について規定する。本規格では標準試験片を規定しているが、標準試験片が使用できない場合には、別の寸法の試験片を使用することができる。また、試験速度の範囲についても規定している。

1.2 本試験方法は、試験片の曲げ挙動を調べる目的、並びに定められた条件下における曲げ強さ、曲げ弾性率、及び他の曲げ応力—ひずみ特性を測定する目的に用いる。本試験方法は支点間の中央部に負荷する両端自由支持はり（梁）（3点曲げ試験）を使用する。

1.3 本試験方法は、次に示す材料に適する。

- 型成形⁽¹⁾、押出成形及び注型⁽²⁾の熱可塑性プラスチック材料：非充てんプラスチックのほか、充てん材入り及び強化材入りのコンパウンドを含む。硬質熱可塑性樹脂の板。
- 熱硬化性型成形材料：充てん材入り及び強化材入りのコンパウンドを含む。熱硬化性型成形樹脂板：積層品を含む。
- 繊維強化熱硬化及び熱可塑性複合材料：一方向強化及び非一方向強化材料、例えば、マット、織物、ロービング織物、チョップドストランド、組合せ強化材、ハイブリッド強化材、ロービング及びミルドファイバーによるもの。予備含浸材料（プリプレグ）から作った板。
- サーマトロピック液晶ポリマー

注⁽¹⁾ “moulding” の訳語：射出成形、中空成形など金型を用いる成形方法。

注⁽²⁾ JIS K 7162 (ISO 527-2) の 1.2 に、適する材料として “moulding, extrusion and cast materials” と “cast”（注型）が併記されており、原国際規格の編集上の誤りとみられる。誤解を防ぐために “注型” を追記した。

本試験方法は通常、硬質発泡材料及び発泡材料を用いたサンドイッチ構造物には適さない。

備考1. 強化プラスチックの種類によっては、4点曲げ試験法の方が望ましい場合がある。この方法は現在 ISO において検討されている。

1.4 本試験方法は、規定の寸法に型成形した試験片、多目的試験片（ISO 3167 参照）の両端のつかみ部分を切り取った中央平行部分からなる試験片又は型成形品、積層品、押出成形板、注型板のような完成品若しくは半完成品から機械加工によって作製した試験片を用いる。

1.5 本試験方法では、試験片の推奨寸法を規定する。異なる寸法の試験片又は異なる条件で作られた試験片による試験結果は、互いに比較することができない。その他の因子、例えば、試験速度、試験片の状態調節などの因子も結果に影響を及ぼす。したがって、比較可能なデータが要求されるときは、これらの因子を注意深く管理し、記録しなければならない。

1.6 曲げ特性は、線形の応力-ひずみ挙動を示す材料に対してだけ、構造設計用に使用できる。曲げ特性が非線形挙動を示す場合、この特性は見掛けのものとなる。曲げ試験は、引張試験が実施困難な柔らかい材料に使用されることが多い。

2. 引用規格

次の規格は、本規格に引用されることによって、本規格の規定の一部を構成する。本規格の発行時点では、ここに示す版の規格が有効である。すべての規格は改訂されることがあるので、本規格の使用者は、引用規格の最新版を適用できるかどうか検討するのが望ましい。

ISO 291 : 1977 Plastics—Standard atmospheres for conditioning and testing.

ISO 293 : 1986 Plastics—Compression moulding test specimens of thermoplastic materials.

ISO 294¹⁾ Plastics—Injection moulding of test specimens of thermoplastic materials.

ISO 295 : 1991 Plastics—Compression moulding of test specimens of thermosetting materials.

ISO 1209-1 : 1990 Cellular plastics, rigid—Flexural tests—Part 1 : Bending test.

ISO 1209-2 : 1990 Cellular plastics, rigid—Flexural tests—Part 2 : Determination of flexural properties.

ISO 1268 : 1974 Plastics—Preparation of glass fibre reinforced, resin bonded, low-pressure laminated plates or panels for test purposes.

ISO 2557-1 : 1989 Plastics—Amorphous thermoplastics—Preparation of test specimens with a specified maximum reversion—Part 1 : Bars.

ISO 2557-2 : 1986 Plastics—Amorphous thermoplastics—Preparation of test specimens with a specified reversion—Part 2 : Plates.

ISO 2602 : 1980 Statistical interpretation of test results—Estimation of the mean—Confidence interval.

ISO 2818²⁾ Plastics—Preparation of test specimens by machining.

ISO 3167 : 1993 Plastics—Multipurpose test specimens.

ISO 5893 : 1985 Rubber and plastics test equipment—Tensile, flexural and compression types (constant rate of traverse) —Description.

1) 発行予定 (ISO 294 : 1975の改訂版)

2) 発行予定 (ISO 2818 : 1980の改訂版)

3. 定義

本規格で使用される用語の定義は、次のとおりとする。

3.1 試験速度 (speed of testing) v : 支持台と圧子との間の相対移動速度。単位 : mm/min

3.2 曲げ応力 (flexural stress) δ_f : 支点間中央位置における試験片表面の呼び応力 [9.1 式(3)参照]。単位 : MPa

3.3 曲げ破壊応力 (flexural stress at break) σ_{fb} : 試験片の曲げ破壊時の応力 (図 1 曲線 a 及び b 参照)。単位 : MPa

3.4 曲げ強さ (flexural strength) σ_{fm} : 曲げ試験中、試験片が耐える最大曲げ応力 (図 1 曲線 a 及び b 参照)。単位: MPa

3.5 規定たわみ時曲げ応力 (flexural stress at the conventional deflection) σ_{fc} : 3.7 に基づく規定たわみ s_c における曲げ応力 (図 1 曲線 c 参照)。単位: MPa

3.6 たわみ (deflection) s : 支点間中央位置における試験片の上面又は下面が湾曲しているとき、初め (応力をかける前) の平面の位置から離れた距離。単位: mm

3.7 規定たわみ (conventional deflection) s_c : 試験片の厚さ h の 1.5 倍に等しいたわみ。

なお、支点間距離 $L=16h$ を用いるとき、規定たわみは、曲げひずみ 3.5% に相当する (3.8 参照)。単位: mm

3.8 曲げひずみ (flexural strain) ε_f : 試験片の中央部、曲げ外周表面の微小部分の単位長さの変化 [9.2 式(4)参照]。単位: 無次元の比又は%

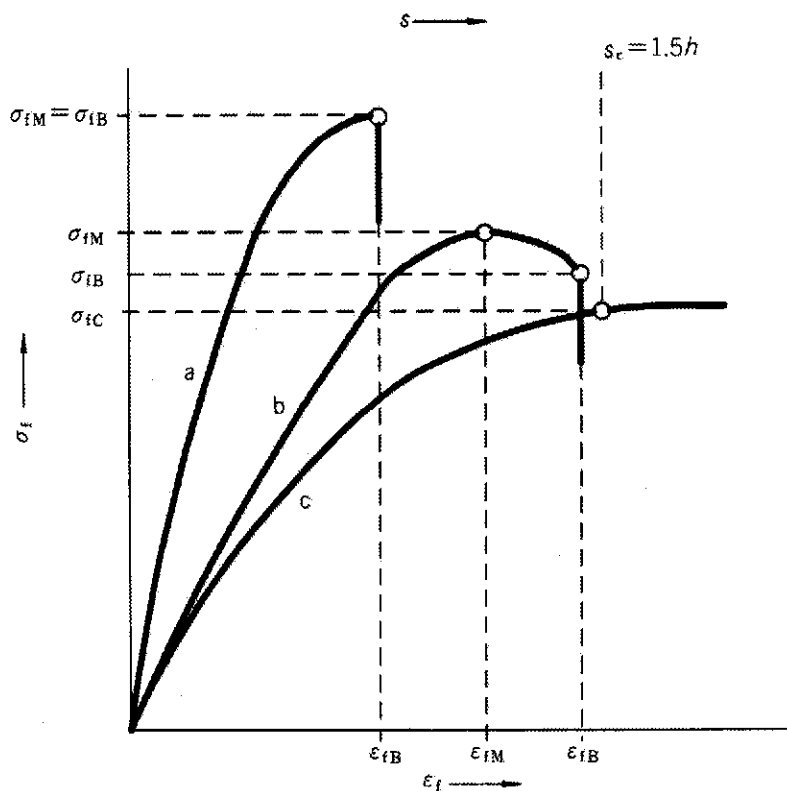
3.9 曲げ破壊ひずみ (flexural strain at break) ε_{fb} : 試験片が破壊するときの曲げひずみ (図 1 曲線 a 及び b 参照)。単位: 無次元の比又は%

3.10 曲げ強さ時曲げひずみ (flexural strain at flexural strength) ε_{fm} : 最大曲げ強さに対応する曲げひずみ (図 1 曲線 a 及び b 参照)。単位: 無次元の比又は%

3.11 曲げ弾性率 (modulus of elasticity in flexure; flexural modulus) E_f : 規定された 2 点のひずみ $\varepsilon_1=0.0005$, 及び $\varepsilon_2=0.0025$ に対応する応力をそれぞれ σ_1 及び σ_2 とするとき、応力の差 ($\sigma_2 - \sigma_1$) をひずみの差 ($\varepsilon_2 - \varepsilon_1$) で除した値 [9.2 式(5)参照]。単位: MPa

備考2. 曲げ弾性率は、引張弾性率の近似値にすぎない。

備考3. コンピュータ付きの装置では、規定された 2 点のひずみ ε_1 , 及び ε_2 の間の曲線の線形回帰によって曲げ弾性率 E_f を求めることができる。

図1 代表的な曲げ応力 σ_f —たわみ s 曲線

曲線a—降伏前に破壊する試験片

曲線b—ピーク値をもつが、規定たわみ s_c 以前に破壊する試験片

曲線c—降伏点もなく、規定たわみ s_c 以前に破壊もしない試験片

4. 原理

両端支持の試験片の中央に集中荷重を加え、試験片が破壊又は規定のたわみに達するまで一定速度でたわませ、その間の試験片に負荷される荷重を測定する。

5. 装置

5.1 試験機

5.1.1 原則

試験機は ISO 5893 に従うもので、本規格 5.1.2 から 5.1.5 までの規定に適合すること。

5.1.2 試験速度

試験機は、表 1 に示す試験速度（3.1 参照）が保持できるものとする。

表 1 推奨試験速度

速度 mm/min	許容範囲 %
1 ¹⁾	±20 ²⁾
2	±20
5	±20
10	±20
20	±10 ²⁾
50	±10

速度 mm/min	許容範囲 %
100	±10
200	±10
500	±10

- 1) 最低速度 1mm/min は、厚さ 1mm ないし 3.5mm の試験片に使用する (8.3 参照)。
- 2) 速度 1mm/min 及び 2mm/min の許容範囲は、ISO 5893 で規定されたものより狭い。

5.1.3 支持台及び圧子

支持台及び中央の圧子は、図 2 のように置く。支持台と圧子の平行度は $\pm 0.02\text{mm}$ 以内とする。圧子の半径 R_1 と支持台の半径 R_2 は、次のとおりとする。

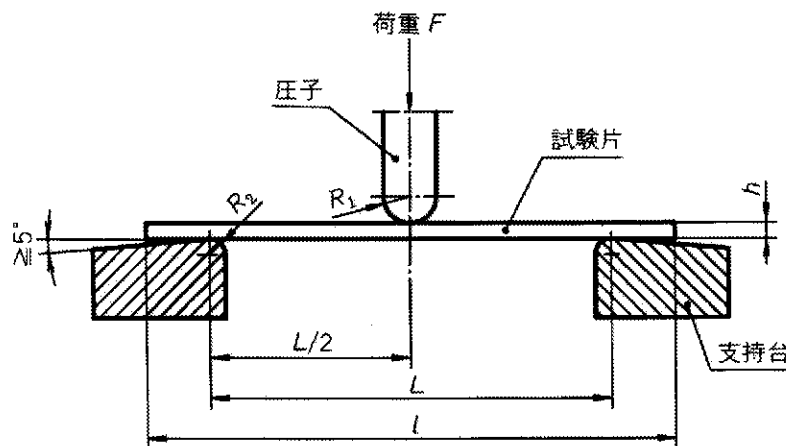
$$R_1 = 5.0 \pm 0.1\text{mm}$$

$$R_2 = 2.0 \pm 0.2\text{mm} \quad \text{試験片厚さが } 3\text{mm} \text{ 以下のとき}$$

$$R_2 = 5.0 \pm 0.2\text{mm} \quad \text{試験片厚さが } 3\text{mm} \text{ を超えるとき}$$

支点間距離 L は、調節可能であるものとする。

図 2 試験開始時の試験片の位置



5.1.4 荷重指示計及びたわみ計

荷重の指示値の誤差は $\pm 1\%$ 、たわみの指示値の誤差はフルスケールの $\pm 1\%$ を超えてはならない (ISO 5893 参照)。

5.2 マイクロメータ及びノギス

5.2.1 マイクロメータ又は同等品

測定精度 0.01mm 以下まで読み取りができるものとする。試験片の厚さ h 及び幅 b を測定のために使用する (図 3 参照)。

5.2.2 ノギス又は同等品

支点間距離 L を測定するためのもので、 $\pm 0.1\%$ 又はそれと同等以上の測定精度をもつものとする。

6. 試験片

6.1 形状及び寸法

6.1.1 原則

試験片の形状及び寸法は、試験される材料の規格に従い、かつ、6.1.2 又は 6.1.3 を適用する。それ以外の場合は、受渡当事者間の協定による。

6.1.2 標準試験片¹⁾

標準試験片の寸法は、次に示すとおりである。単位：mm

長さ : $l = 80.0 \pm 2.0$

幅 : $b = 10.0 \pm 0.2$

厚さ : $h = 4.0 \pm 0.2$

試験片の中央部、長さの 1/3 以内のいずれの位置の厚さも、平均値からの偏差が 2%を超えてはならない。対応する幅の偏差は、最大値 3%とする。断面は長方形で、角は丸くなっている必要はない。

注²⁾ “Preferred test specimen” の訳語。支障のない限り優先的に使用するもの。

備考4. 標準試験片は、ISO 3167による多目的試験片の中央部から機械加工によって作製してよい。

6.1.3 その他の試験片

標準試験片が使用できない場合又は望ましくない場合は、次の条件に従う試験片とする。

試験片の長さとは、標準試験片と同じ比率とする。すなわち：

$$\frac{l}{h} = 20 \pm 1 \dots\dots\dots (1)$$

ただし、8.2a)、8.2b)又は8.2c)に該当する場合を除く。

備考5. 規定の厚さより厚い板から試験片を採取する場合は、片面だけを機械加工によって規定の厚さまで薄くする。この場合、機械加工した面を圧子側とし、元の（機械加工していない）面を支持台側にして置く。

試験片の幅は、表 2 に示す値を用いる。

表 2 厚さ h に対応する幅 b の値

厚さ h mm	幅 $b \pm 0.5\text{mm}^{1)}$	
	型成形・押出成形用 コンパウンド並びに 熱可塑性及び熱硬化 性樹脂板	織布及び長繊維強化 プラスチック材料
$1 < h \leq 3$	25.0	15.0
$3 < h \leq 5$	10.0	15.0
$5 < h \leq 10$	15.0	15.0
$10 < h \leq 20$	20.0	30.0
$20 < h \leq 35$	35.0	50.0
$35 < h \leq 50$	50.0	80.0

1) 非常に粗い充てん剤入り材料の場合、幅は 20 から 50mm とする。

6.2 異方性材料

6.2.1 例えば、弾性率のような物理的性質が方向に依存する材料では、試験片は、完成品（型成形品、板、チューブなど）が使用状態で受ける荷重と同じ方向に負荷されるように採取する。完成品と完成品から採取した試験片の関係から、標準試験片が使用できるかどうか分かる（6.1 参照）。

備考6. 試験片の採取位置、配向、及び寸法は試験結果に非常に大きな影響を及ぼすことがある。特に積層品では顕著である。

6.2.2 試験片の二つの主軸方向で、曲げ特性に著しい差を示す材料では、二方向で試験をしなければならない。試験片の配向と主軸方向との関係は、記録しておく（図3参照）。

備考7. 使用上、主要方向に対してある特定の配向方向に応力を受ける場合、その配向方向で試験することが望ましい。

6.3 試験片の作製

6.3.1 型成形又は押出成形材料

試験片は、試験される材料規格に従って作製する。その規格がなく、また、その他の規定もない場合は ISO 293, ISO 294, ISO 295, ISO 2557-1 又は ISO 2557-2 のうちの当該規格に従って、材料からの直接圧縮成形又は射出成形で作製する。

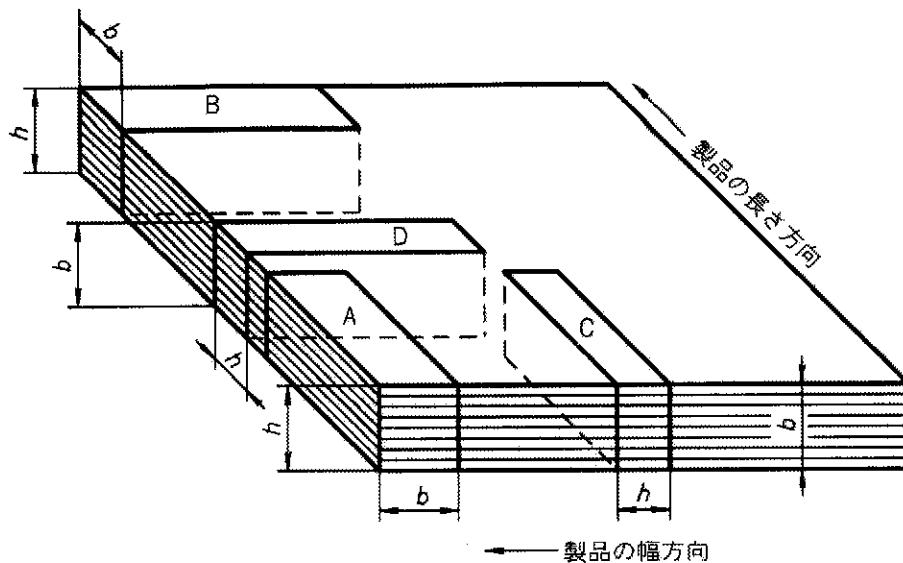
6.3.2 板

試験片は、ISO 2818 に従って、板から機械加工する。

6.3.3 長繊維強化プラスチック

まず、板を ISO 1268 若しくは、他の規定又は受渡当事者間の協定に従って作製する。この板から ISO 2818 に従って機械加工によって試験片を作製する。

図3 製品の方向と荷重の方向に関連した試験片の位置



試験片の位置	製品の方向	荷重の方向
A	長さ	直角
B	幅	直角
C	長さ	平行
D	幅	平行

6.4 試験片の検査

試験片はねじれがなく、表裏面及び側面各々の平行面は相互に直交し、表面、辺縁部に傷、穴、ひけ及びバリがあってはならない。試験片は、直線定規、直角定規及び定盤を用いた目視並びにキャリパーによって、上記の要求事項に適合するか検査する。これらの要求事項の一つにでも適合しない試験片は、廃棄するか又は適合する寸法・形状に更に機械加工する。

6.5 試験片の数

6.5.1 各方向で最少 5 個を試験する（図 3 参照）。より高精度の平均値を必要とする場合は、5 個以上の試験片で測定を行う。信頼区間（95%確率，ISO 2602 参照）によって平均値を評価することができる。

6.5.2 支点間の中央の支点間距離の 1/3 の長さの部分の外側で破壊した試験片は、廃棄し、新しい試験片で試験をする。

7. 状態調節

試験片は、試験される材料の規格に定められた方法によって状態調節を行う。その規定がなく、受渡当事者間の協定（例えば、高温又は低温）もない場合は、ISO 291 の中で最も適した条件を選んで行う。

8. 手順

8.1 試験される材料の規格に定められた試験環境で試験を行う。その規定がなく、受渡当事者間の協定（例えば、高温又は低温）もない場合は、ISO 291 の中で最も適した条件を選んで行う。

8.2 試験片の幅 b を 0.1mm まで、試験片中央の厚さ h を 0.01mm まで測定する。一組の試験片の平均厚さ $\bar{h}$ を計算する。厚さが、平均値の $\pm 0.5\%$ の許容差を超える試験片は捨て、他の試験片を使用する。

次の式(2)によって支点間距離 L を算出し、その値に装置を調整する。

$$L = (16 \pm 1) \bar{h} \dots\dots\dots (2)$$

支点間距離 L を 0.5%又はそれと同等以上の精度で測定する。ただし、次の各項に該当するものには式(2)は適用しない。

- a) 非常に厚い試験片及び一方向の繊維強化試験片は、せん断によるはく離を避けるために必要ならば、 $L/\bar{h}$ の大きい方の値で計算した支点間距離を用いる。
- b) 非常に薄い試験片は、必要ならば、試験機の測定できる荷重容量内で、 $L/\bar{h}$ の小さい方の値で計算した支点間距離を用いる。
- c) 軟質熱可塑性プラスチックについては、支持台の食い込みを防ぐため必要ならば、 $L/\bar{h}$ は大きい方の値を用いる。

8.3 試験速度を試験される材料の規格に従って設定する。その規定がない場合には、できる限り 1%/min に近いひずみ速度になるように、5.1.2 の表 1 の試験速度の中から選ぶ。これは、1 分間に厚さの 0.4 倍のたわみを生じる試験速度である。

例えば、6.1.2 の標準試験片の場合、2mm/min となる。

8.4 試験片を左、右支持台上に対称的に載せる。支点間中央の圧子に荷重を負荷する（図 2 参照）。

8.5 試験中の荷重及びこれに対応する試験片のたわみを記録する。このためには、曲げ応力－たわみ曲線を描く自動記録装置を使用することが望ましい [9.1 式(3)参照]。

応力、たわみ及びひずみは、4.の定義に従い、荷重－たわみ又は応力－たわみ曲線から求める。

9. 計算及び結果の表示

9.1 曲げ応力

曲げ応力（3.2 参照）は、次の式(3)によって算出する。

$$\sigma_f = \frac{3FL}{2bh^2} \dots\dots\dots (3)$$

ここに、 σ_f : 曲げ応力 (MPa)

F :	荷重	(N)
L :	支点間距離	(mm)
b :	試験片の幅	(mm)
h :	試験片の厚さ	(mm)

9.2 曲げ弾性率

曲げひずみ (3.8 参照) は、次の式(4)によってひずみ $\epsilon_{f1}=0.0005$ と $\epsilon_{f2}=0.0025$ に相当するたわみ s_1 と s_2 を算出する。

$$s_i = \frac{\epsilon_{fi} L^2}{6h} (i=1, 2) \dots\dots\dots (4)$$

ここに,	s_i :	たわみ	(mm)
	ϵ_{fi} :	曲げひずみ	
	L :	支点間距離	(mm)
	h :	厚さ	(mm)

曲げ弾性率 (3.11 参照) は、次の式(5)によって算出する。

$$E_f = \frac{\sigma_{f2} - \sigma_{f1}}{\epsilon_{f2} - \epsilon_{f1}} \dots\dots\dots (5)$$

ここに,	E_f :	曲げ弾性率	(MPa)
	σ_{f1} :	たわみ s_1 で測定した曲げ応力	(MPa)
	σ_{f2} :	たわみ s_2 で測定した曲げ応力	(MPa)

コンピュータを用いて求める場合は、3.11 の備考 3.を参照する。

備考8. 曲げ特性に関係するすべての式は、厳密には線形の応力-ひずみ挙動のものだけに適用される (1.6参照)。したがって、ほとんどのプラスチック材料については、微小たわみに対してだけこれらの式は正確である。

9.3 統計処理

試験結果の算術平均値を計算する。必要に応じ ISO 2602 に規定する方法で平均値の標準偏差及び 95% 信頼区間を計算する。

9.4 有効数字

曲げ応力及び弾性率は、有効数字 3 けたまで、たわみは、有効数字 2 けたまで計算する。

10. 精度

本試験法の精度は、試験室間のデータがないので不明である。精度は、そのデータが得られた時点で、次の改訂版に追加される。

参考 日本国内の 7 か所の試験室による曲げ弾性率のラウンドロビンテストを行った。詳細は本規格の解説に記す。

11. 報告

試験報告は、次の事項を含むこと。

- 規格番号。
- 試験材料の特定に必要なすべての事項：形式、出所、製造番号及び履歴を含む。
- 板の厚さ及び方向性があるときは板の主軸に対する試験片の方向。
- 試験片の形、幅、厚さ及び長さ (平均、最小及び最大値)。
- 試験片の作製方法。

- f) 状態調節の温度、湿度、時間などの条件及び試験の温度、湿度の条件：試験される材料又は製品の規格で特別な状態処理が規定されている場合は、その処理。
- g) 試験片の数。
- h) 支点間距離。
- i) 試験速度。
- j) 試験機の精度等級（ISO 5893 参照）。
- k) 荷重を負荷した試験片面。
- l) 個々の試験結果，要求がある場合は。
- m) 測定値の平均値。
- n) 必要に応じ平均値の標準偏差及び 95%信頼区間。
- o) 測定日。

JIS 原案作成委員会 構成表

	氏名	所属	本委員会	分科会
(委員長)	近 藤 春 樹	大阪大学基礎工学部	○	○
	宮 入 裕 夫	東京医科歯科大学医用器材研究所	○	○
	小 林 政治郎	小林技術事務所	○	
	中 山 和 郎	物質工学工業技術研究所	○	
	田 中 正 躬	通商産業省基礎産業局	○	
	地 崎 修	工業技術院標準部	○	○
	高 野 忠 夫	財団法人高分子素材センター試験・検査事業部	○	○
	馬 場 文 明	三菱電機株式会社材料デバイス研究所	○	
	我 妻 誠	NTT 電話サービス技術協力センター	○	○
	斎 藤 満	株式会社東洋精機製作所	○	○
	小 泉 親 秀	株式会社島津製作所試験計測事業部	○	○
	斎 藤 英 隆	株式会社オリエンテック技術部	○	○
	今 井 敏	鐘淵化学工業株式会社中央研究所	○	
	川 村 好 宏	三菱樹脂株式会社平塚研究所	○	
	浜 島 俊 行	日本石油化学株式会社研究部	○	○
	小 林 敏 男	三菱油化株式会社四日市総合研究所	○	○
	(田 辺 久 光)			
	千 野 修 一	ポリプラスチック株式会社技術部	○	
	飯 森 博	三井東圧化学株式会社化成品建材事業部	○	○
	岸 本 祐一郎	三菱レイヨン株式会社樹脂応用第一技術センター		○
	中 井 了 一	旭化成工業株式会社テナック技術開発部		○
(事務局)	樋 口 秀 臣	財団法人高分子素材センター試験・検査事業部		
	三 宅 孝 治	財団法人高分子素材センター試験・検査事業部		
	田 村 正 勝	日本プラスチック工業連盟		

○：委員