

# 金属材料の引張試験の基礎

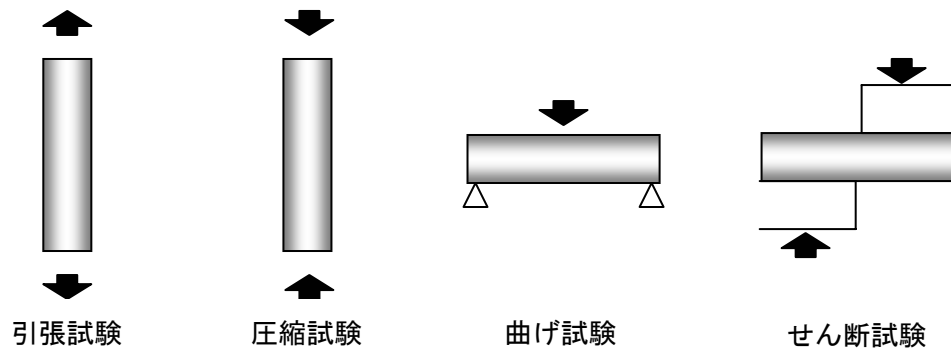
## 1. はじめに

### 金属材料の強度試験

引張試験・・・金属材料の強度評価によく利用される。

(引張強度, 降伏点, 伸び, 絞り など)

その他・・・圧縮試験, 曲げ試験, せん断試験, 硬さ試験, 衝撃試験, 疲労試験など。



## 2. 関連 JIS

### 2. 1 金属材料の引張試験に関する基本的な JIS

Z2201 「金属材料引張試験片」

Z2241 「金属材料引張試験方法」

(溶接材の引張試験に関する JIS)

Z3040 「溶接施工方法の確認試験方法」

Z3111 「溶着金属の引張及び衝撃試験方法」

Z3121 「突合せ溶接継手の引張試験方法」

2. 2 JIS Z2201 「金属材料引張試験片」の概要（抜粋）

- ※ 金属材料の引張試験に用いる引張試験片について規定
- ※ 対応国際規格 ISO 6892 「Metallic materials – Tensile testing」

・試験片の分類

種々の試験片の分類および使用区分の目安（表1および表2）

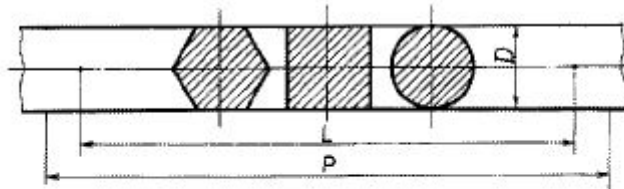
表1 試験片の分類

試験片の形状	板状試験片	棒状試験片	管状試験片	円弧状試験片	線状試験片
比例試験片	14B号	2号, 14A号	14C号	14B号	
定形試験片	1A号, 1B号, 5号, 13A号, 13B号	4号, 10号, 8A号, 8B号, 8C号, 8D号	11号	12A号, 12B号, 12C号	9A号, 9B号

表2 試験片の使用区分

区分	材料	試験片		備考
	寸法	比例	定形	
板・平・形・帯	板厚 40mm を超えるもの	14A号	4号, 10号	棒状試験片採取の場合
		14B号	—	板状試験片採取の場合
	板厚 20mm を超え 40mm 以下	14A号	4号, 10号	棒状試験片採取の場合
		14B号	1A号	板状試験片採取の場合
	板厚 6mm を超え 20mm 以下	14B号	1A号, 5号	
板厚 3mm を超え 6mm 以下 板厚 3mm 以下	—	5号, 13A号, 13B号		
棒	—	2号, 14A号	4号, 10号	—
線	—	—	9A号, 9B号	—
管	管の外径が小さいもの	14C号	11号	管状試験片採取の場合
	外径 50mm 以下	14B号	12A号	円弧状試験片採取の場合
	外径 50mm を超え 170mm 以下		12B号	
	外径 170mm を超えるもの	—	12C号	—
	管径 200mm 以上のもの	14B号	5号	板状試験片又は円弧状試験片採取の場合
厚肉のもの	14A号	4号	棒状試験片採取の場合	
铸造品	—	14A号	4号, 10号	—
	—	—	8A号, 8B号, 8C号, 8D号	伸び値不要の場合に用いる。 試験片用に铸造した供試材から採取する。
鍛造品	—	14A号	4号, 10号	—

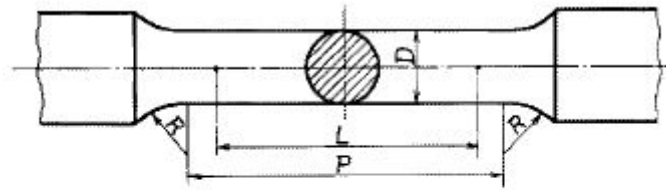
- ・ 2号試験片（比例試験片）・・・棒材をそのまま使用する



径又は対辺距離	標点距離	つかみの間隔
$D$	$L$	$P$
もとのままとする	$8D$	約 $(L+2D)$

図1 2号試験片

- ・ 4号試験片（定形試験片）・・・ 板材，棒材の両方でよく使用される試験片

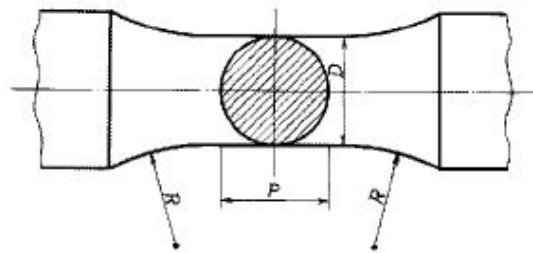


単位 mm

径 $D$	標点距離 $L$	平行部の長さ $P$	肩部の半径 $R$
14	50	約 60	15 以上

図2 4号試験片

- ・ 8号試験片（定形試験片）・・・ 鋳造品の引張試験に使用  
伸び値を必要としない場合に用いる

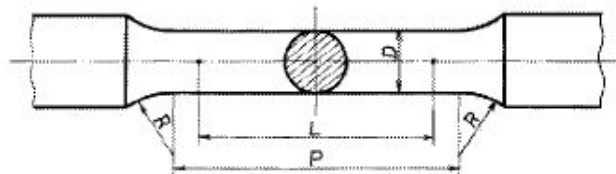


単位 mm

試験片の区別	供試材の鋳造寸法 (径)	平行部の長さ $P$	径 $D$	肩部の半径 $R$
8A	約 13	約 8	8	16 以上
8B	約 20	約 12.5	12.5	25 以上
8C	約 30	約 20	20	40 以上
8D	約 45	約 32	32	64 以上

図3 8号試験片

- ・ 10号試験片（定形試験片）・・・ 4号試験片とともによく使用される試験片



単位 mm

径 $D$	標点距離 $L$	平行部の長さ $P$	肩部の半径 $R$
12.5	50	約 60	15 以上

図4 10号試験片

・ 1 3号試験片（定形試験片）

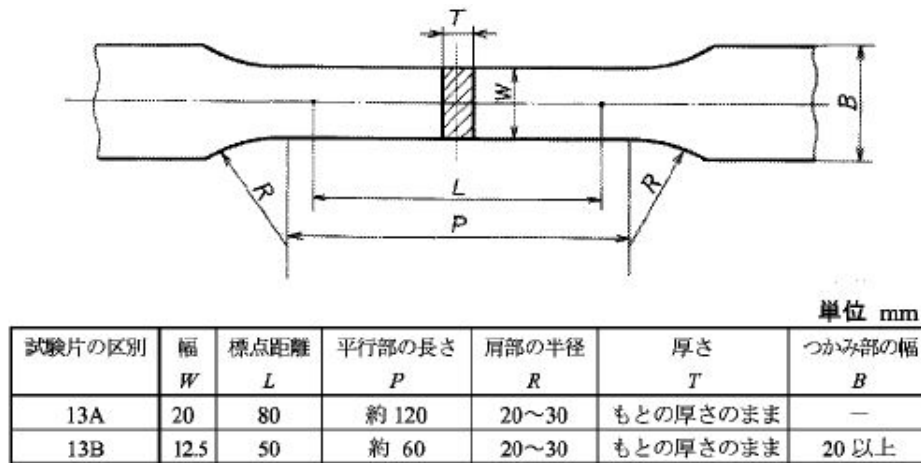


図5 13号試験片

・ 1 4 A号試験片（比例試験片）

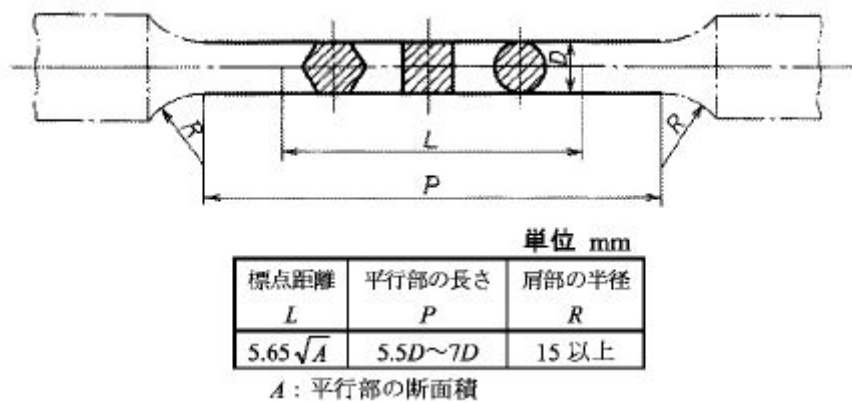


図6 14A号試験片

・ 1 4 B号試験片（比例試験片）

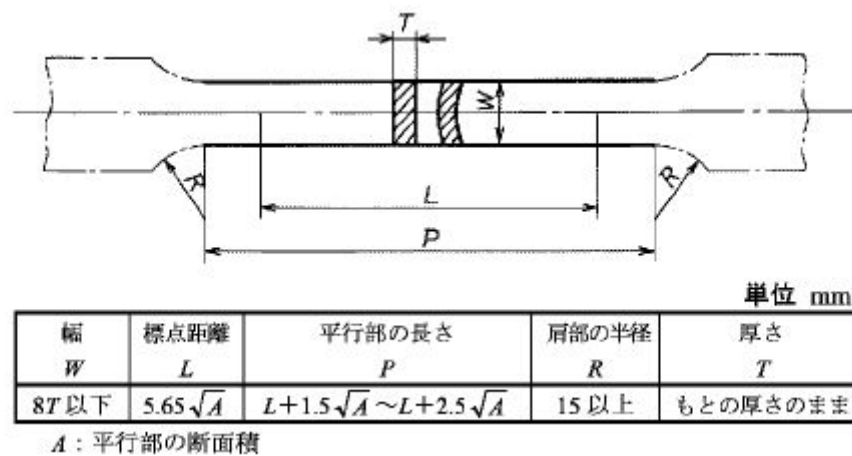


図7 14B号試験片

## 2. 3 Z2241 「金属材料引張試験方法」の概要（抜粋）

- ※ 金属材料の引張試験方法について規定
- ※ 対応国際規格 ISO 6892 「Metallic materials – Tensile testing」

### ・用語の定義

- 破断伸び・・・破断後の永久伸びを原評点距離に対して百分率で表した値。（％）
- 絞り・・・試験中に発生した断面積の最大変化量で、破断後の断面積を原断面積に対して百分率で表した値。（％）
- 応力・・・試験片に負荷された力を断面積で割った値。（N/mm<sup>2</sup>）
- 引張強さ・・・試験中に加わった最大の力に対応する応力。（N/mm<sup>2</sup>）
- 降伏応力・・・金属材料が降伏現象を示すときの応力。（N/mm<sup>2</sup>）
- 上降伏点・・・最初に力の減少が観測される瞬間の応力値。（N/mm<sup>2</sup>）
- 下降伏点・・・過渡的影響を無視した塑性降伏する間の応力の最小値。（N/mm<sup>2</sup>）

### ・原理

試験片に、引張力による破断に至るまでのひずみを与えることによって、材料の機械的性質を決定する。

### ・試験片

試験片は、JIS Z2201 「金属材料引張試験片」に規定されているものを使用する。

### ・試験機

引張試験に用いる試験機は、JIS B7721 「引張・圧縮試験機—力計測系の校正・検証方法」による等級1級以上とする。

### ・試験

力の加え方・・・試験片の形状に適したつかみ装置を用い、試験片に軸方向の力だけが加わるようにする。

### ・各種結果の求め方

原断面積・・・標点間の両端部および中央部の3カ所の断面積の平均値。  
規定寸法の0.5%まで測定。

標点距離・・・規定の寸法の0.4%の精度で測定。

上降伏点・・・ $\sigma_{SU} = F_{SU} / A_0$ （N/mm<sup>2</sup>） ※整数で表記

下降伏点・・・ $\sigma_{SL} = F_{SL} / A_0$ （N/mm<sup>2</sup>） ※整数で表記

$F_{SU}$ ：一旦下がる前の最大荷重（N）

$F_{SL}$ ：一旦下がり、再び上がる前の最小荷重（N）

$A_0$ ：原断面積（mm<sup>2</sup>）

耐力・・・ $\sigma_{\epsilon} = F_{\epsilon} / A_0$  (オフセット法) ※整数で表記

$F_{\epsilon}$  : 伸び計を用いて力と伸びた量との関係線図を求め、規定の永久伸び ( $\epsilon\%$ ) に相当する伸び軸上の点から試験初期の直線部分に平行線を引き、これが線図と交わる点の示す力 (N)

$A_0$  : 原断面積 ( $\text{mm}^2$ )

※ 明確な降伏点が観察されない場合に適用.

※ 耐力を算出する方法は他にもあります.

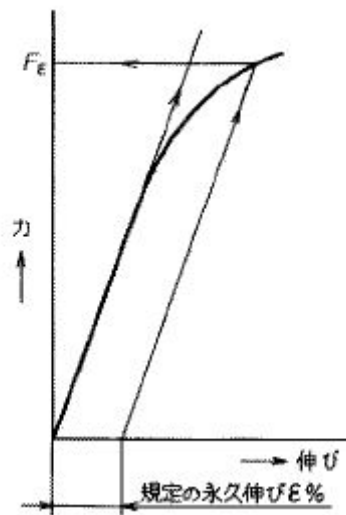


図8 オフセット法による耐力の算出方法

引張強さ・・・ $\sigma_B = F_{\max} / A_0$

$F_{\max}$  : 最大引張力 (N)

$A_0$  : 原断面積 ( $\text{mm}^2$ )

破断伸び・・・ $\delta = (l - l_0) / l_0 \times 100$  ※整数で表記

l : 試験片の両破断片の中心線が一直線上にあるように注意し、破断面を突き合わせて測定したときの標点間の長さ (mm)

$l_0$  : 原標点距離 (mm)

絞り・・・ $\phi = (A_0 - A) / A_0 \times 100$  ※整数で表記

A : 試験片の破断面を注意し、突き合わせて測定した最小断面積 ( $\text{mm}^2$ )

$A_0$  : 原断面積 ( $\text{mm}^2$ )

※ 円形断面の試験片を用いる.

#### 2. 4 Z3040 「溶接施工方法の確認試験方法」の概要（抜粋）

※ 溶接構造物の溶接において、あらかじめ溶接施工方法の適否を確認するための共通試験方法について規定。

- ・試験片・・・JIS Z3121 に規定する試験片。
- ・評価基準（継手引張試験：付属書）・・・母材の規格による引張強さの最小値以上とする。  
ただし、試験片の母材部で破断した場合で、その引張強さが母材の引張強さの95%以上のときは、基準を満たしているものとしてよい。

#### 2. 5 Z3111 「溶着金属の引張及び衝撃試験方法」の概要（抜粋）

※ 溶着金属の引張および衝撃試験方法について規定。

- ・引張試験片・・・JIS Z2201 の10号試験片
- ・引張試験片の平行部は肩部を含めてすべて溶着金属でなければならない。（溶着部から試験片を切り出す。）

2. 6 Z3121 「突合せ溶接継手の引張試験方法」の概要（抜粋）

- ※ 金属材料の板および管の突合せ溶接継手の引張試験方法について規定。
- ※ 対応国際規格 ISO 4136 「 Fusion – welded butt joints in steel – Transverse tensile test 」

・試験片は溶接線が試験片の長手方向に直角で中央に位置するように採取する。

・ 1号試験片

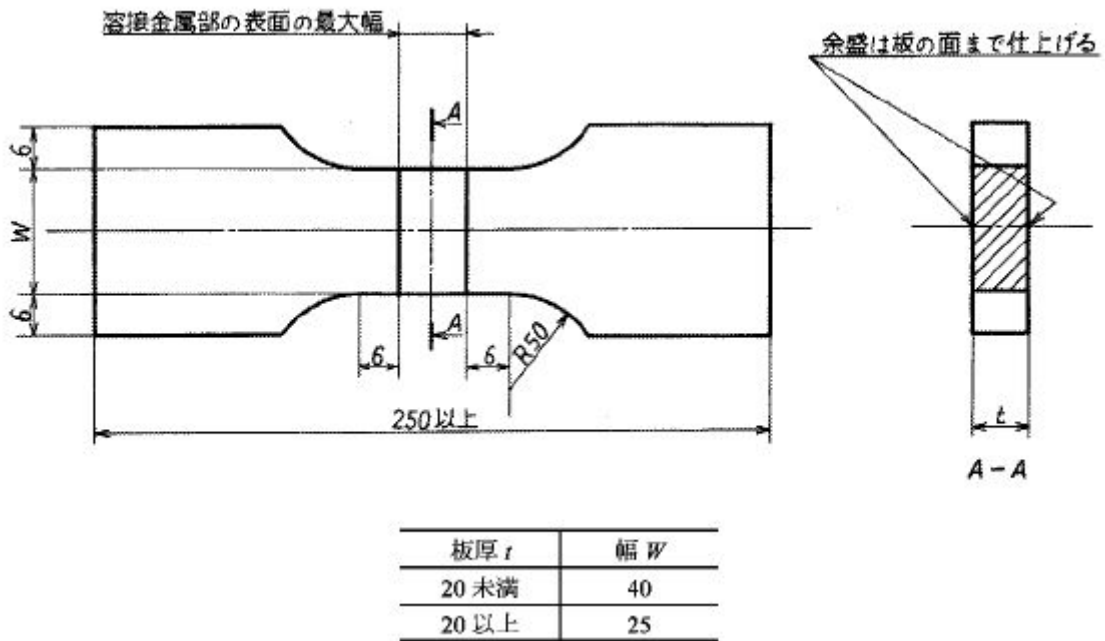


図9 1号試験片

・ 1 A号試験片

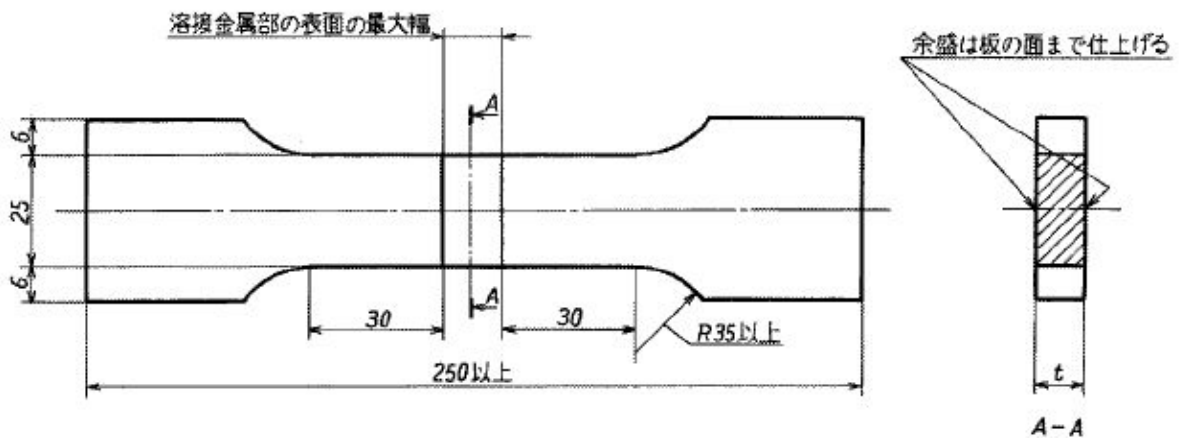


図10 1 A号試験片



・ 3号試験片

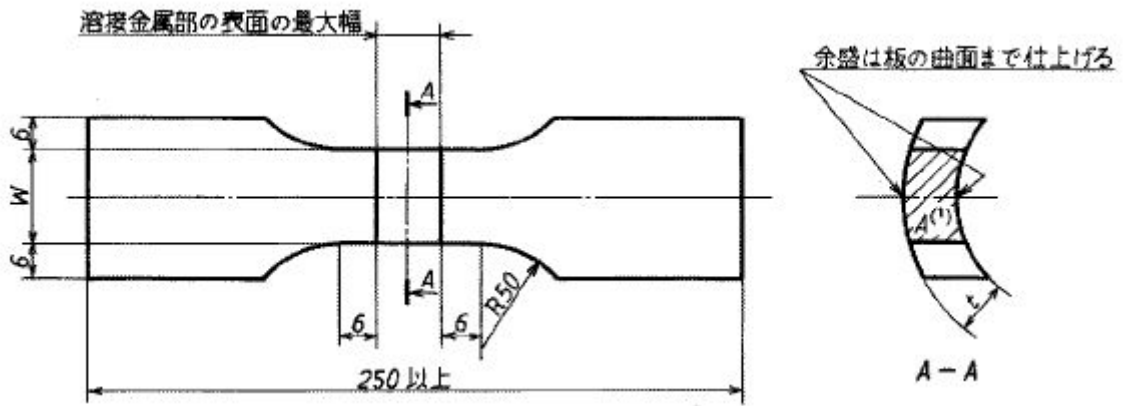


図 1 1 3号試験片

・ 3 A号試験片

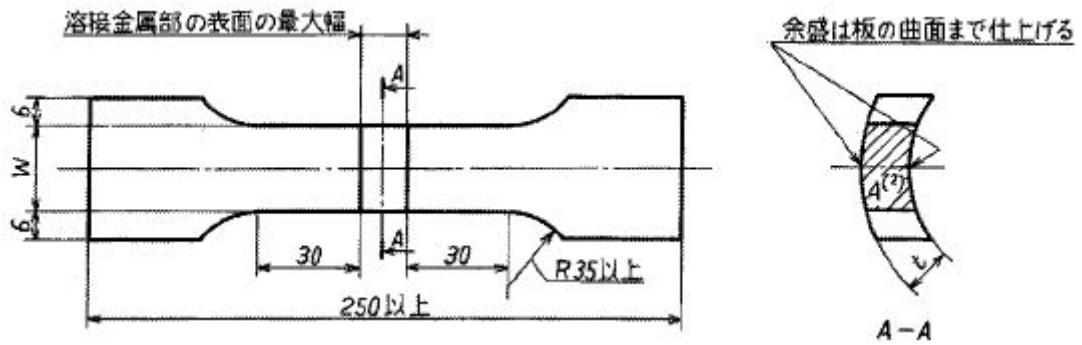


図 1 1 3 A号試験片

### 3. 引張試験でわかること

#### 3.1 応力-ひずみ線図からわかること

引張試験をすると、横軸に伸びもしくはひずみ、縦軸に負荷荷重もしくは応力をプロットしたグラフ（図12）が得られる。このグラフを応力-ひずみ線図という。ただし、図12の横軸は引張試験機の移動量。このグラフから、いろんなことがわかる。

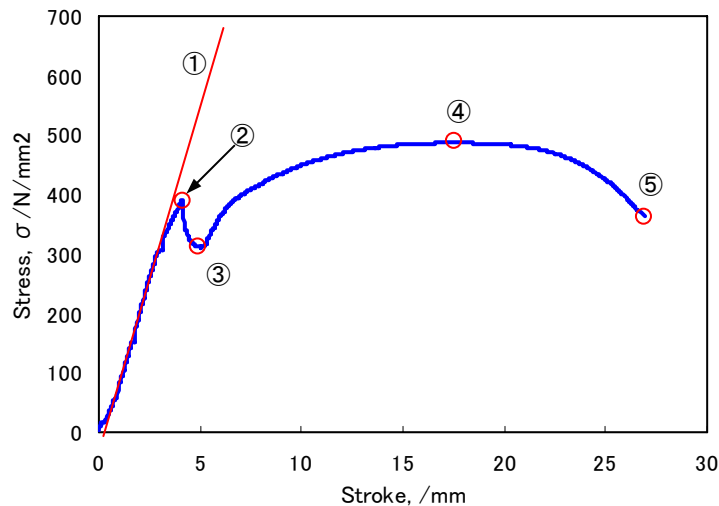


図12 軟鋼の引張試験結果（応力-変位線図）

- ① 弾性率・・・弾性変形時の応力とひずみの関係。単位は、 $\text{N/mm}^2$ 。一次式で表すことができる。①の線が横に倒れていると低弾性率、立っていると高弾性率となる。鉄鋼材料で、 $210\text{GPa}$ 程度。有限要素法解析などの強度シミュレーションにおいて必須のパラメータ。
- ② 上降伏点・・・弾性変形から永久ひずみが蓄積される塑性変形に変わる際の、もっとも高い応力値。単位は、 $\text{N/mm}^2$ 。一般的に降伏点というと上降伏点をさし、設計の際の強度計算の指標となる数値。降伏点が高いということは、塑性変形しにくいということ。
- ③ 下降伏点・・・上降伏点が見れたあとに出てくる応力の低い状態における最低応力値。単位は、 $\text{N/mm}^2$ 。降伏点が低いほど、塑性加工の成型能がよくなる。
- ④ 引張強さ・・・その金属材料のもつ最大強度。単位は、 $\text{N/mm}^2$ 。
- ⑤ 破断点・・・破断した点。破断強さということもあるが、強度値よりは伸び値のほうが重要。伸びを求めるときは、破断した試験片を突き合わせて標点距離を測定する。

### 3. 2 そのほかに引張試験をして得られるデータ

- ・ 伸び・・・試験後の試験片を突き合わせて、標点距離を測定し、原標点で割って百分率で表した値。材料の延性の評価に用いる。伸びが大きいほど塑性加工の際の加工量を大きくとれる。また、一般的に強度（引張強さ、降伏点）と伸びの関係は反比例であり、高強度材料ほど伸びは小さく、低強度であるほど伸びが大きくなる。
- ・ 絞り・・・破断後のくびれ部の断面積を原断面積で割って百分率で表した値。伸びと同じように、材料の延性の評価に用いる。この値が大きいほど、深しぼり加工などの成型性が良くなる。
- ・ ポアソン比・・・金属材料を引張った場合、縦方向に伸びて、横方向に縮む。このときの縦方向の伸び（ $\varepsilon$ ）と横方向の縮み（ $\varepsilon'$ ）の比は、材料によって一定の値をとる。その値をポアソン比という。ポアソン比を測定する場合は、試験片に2軸のひずみゲージを貼って、引張試験を行い、ひずみゲージの値を記録する。このときに、応力の値も一緒に測定しておくで、弾性率も算出できる。

$$\nu = - \varepsilon' / \varepsilon$$

$\varepsilon$  : 縦ひずみ

$\varepsilon'$  : 横ひずみ

$$\varepsilon = (l - l_0) / l_0$$

$$\varepsilon' = (d - d_0) / d_0$$

#### 4. 強度が高いと良いこと、悪いこと

- ◎ 使用する材料が少なくすむ → 製品を軽くできる.
- ◎ (降伏点が大きいくほど) 疲労に強い.
- ◎ ただし、塑性加工しにくくなる.

#### 5. 強度はなにでできるの

- ・ 強度は何でできるのか. → 転位が動きやすいか、動きにくいかに  
動きやすい → 強度低  
動きにくい → 强度高
- ・ 転位・・・金属材料が変形する際に、発生する欠陥. 転位がすべり線上を移動することで変形する.

#### 6. 金属材料を強くするにはどうすりゃいいの

- ◎ 転位を動きにくくすればよい

転位を動きにくくする方法

- ・ 固溶強化・・・異種材料を添加して合金化する.  
置換型元素・・・原子径の違う元素を添加することで格子がひずむ.  
侵入型元素・・・添加した侵入型元素が転位に偏析することにより、コ Cottrell 雰囲気を作ることで、転位が動きにくくなる.
- ・ 析出強化・・・母相とは違う第2相、第3相を析出させる.  
ひずみ時効・・・母相結晶中に炭化物や酸化物、窒化物を析出させることで、結晶の格子がひずむ.  
時効硬化・・・母相結晶中に析出物を分散させることで、転位の運動が制限される. →ピン止め硬化.
- ・ 加工強化・・・圧延などによって加工ひずみを導入する. 金属を塑性加工すると転位や原子空孔、積層欠陥などの欠陥が大量に発生し、転位が絡まり、結晶の周期性が乱れることで転位が動きにくくなる.
- ・ 結晶粒微細化・・・加工熱処理による再結晶. 結晶粒を微細化すると、粒界が増大する. 粒界は粒内に比べて転位が動きにくいので強度が上がる. 特別な添加物など必要としないのが利点の一つ.

## 7. 引張試験事例

### 7. 1 ねじり変形を加えた軟鋼の引張試験結果

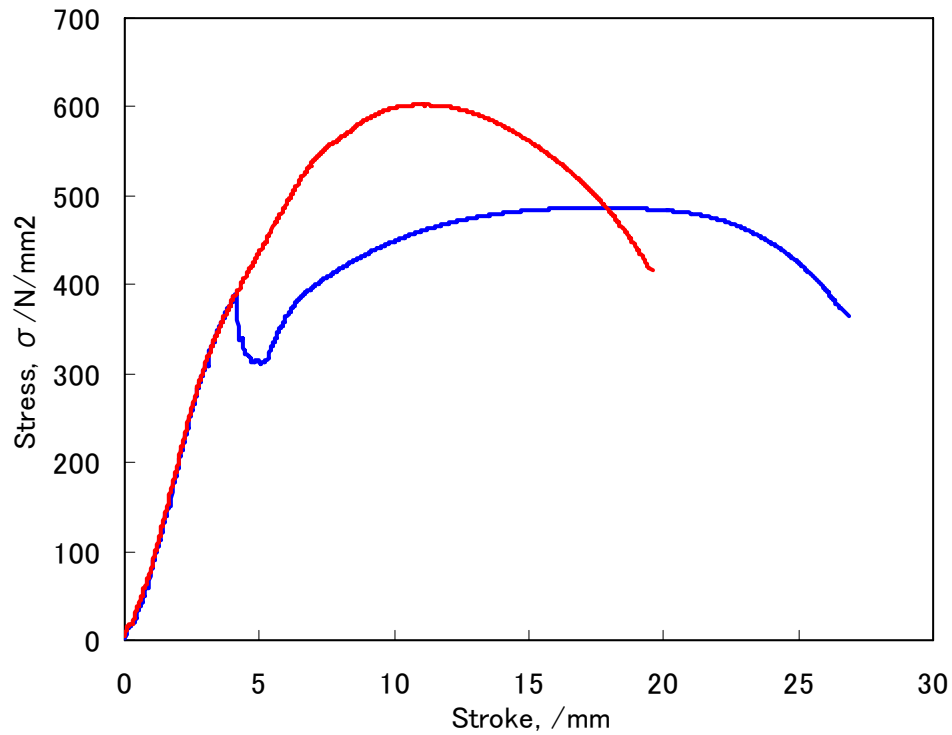


Fig. A 引張試験結果

青線 . . . 軟鋼の引張試験結果

赤線 . . . ねじり変形を加えた軟鋼の引張試験結果  
(1回転させた後, 1回転戻す)

ねじり変形を加えることで, 加工硬化により強度上昇, 伸び減少.