

材料力学実験

1. 題 目

引張試験および硬さ試験

2. 目 的

軟鋼丸棒の引張試験を行い、材料特性を測定する。また、軟鋼および黄銅の硬さ試験を行い、金属の硬さ値を求める。それぞれ JIS（日本工業規格）で定められた方法を習得する。

3. 引張試験

3.1 使用器具

- (1) アムスラー式 500 kN 万能材料試験機
- (2) ダイヤルゲージ式伸び計
- (3) ひずみゲージ, ひずみ計
- (4) マイクロメータ, ノギス
- (5) JIS 2号試験片 (図 1 参照)

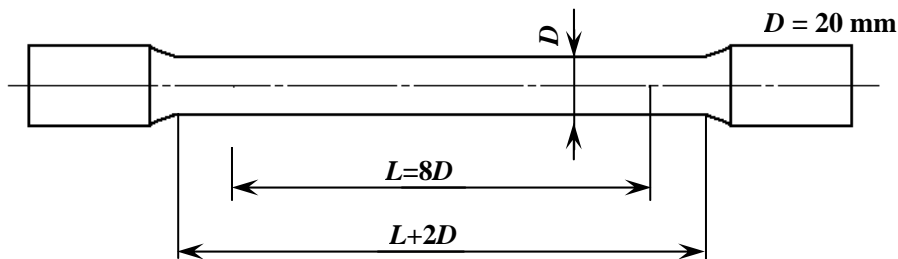


図 1 引張試験片

3.2 ヤング率の測定

- (1) マイクロメータを用いて標点間の両端部及び中央部の三箇所、互いに直交する二方向の直径を測定し、横断面積を計算する。それらの平均値を原断面積 A_0 とする。ここで、原断面積とは、力を加える前の断面積のことである。
- (2) 試験片を万能材料試験機に取付ける。
- (3) ダイヤルゲージ式伸び計を試験片に取付ける。
- (4) 試験片に貼られたひずみゲージのリード線をひずみアンプに接続する。
- (5) 万能材料試験機によって最大 50 kN まで、5 kN ずつ荷重を増やして（これを負荷過程という）各荷重 P における伸び λ を伸び計によって測定し、その伸びより垂直ひずみ ε を算出する（ $\varepsilon = \lambda/L_0$, λ : 伸び, L_0 : 原標点距離）。同時に、ひずみアンプによって得られる垂直ひずみ ε も測定する。荷重が 50 kN に達したら、5 kN ずつ荷重を減らして（これを除荷過程という）同様に測定する。
- (6) 各荷重による垂直応力（ $\sigma = P/A_0$ ）を計算し、伸び計およびひずみゲージにから求めた垂直ひずみによる応力-ひずみ線図（stress-strain curve）を描き、直線の勾配からヤング率 E を求める（単位は GPa）。

3.3 破断試験

- (1) ダイヤルゲージ式伸び計を取りはずし、ひずみゲージのリード線をひずみアンプから切り離す。
- (2) 破断に至るまで徐々に荷重を加えて行き、図2のような荷重－伸び線図をディスプレイ上に描かせると同時に、途中の上降伏点荷重 P_{YU} 、下降伏点荷重 P_{YL} 、最大荷重 P_{max} 及び破断荷重 P_G の値を測定値から読み取る。

これらの値を A_0 で除して、上降伏点応力 σ_{YU} 、下降伏点応力 σ_{YL} 、引張強度 σ_B の値を求める (単位は MPa)。

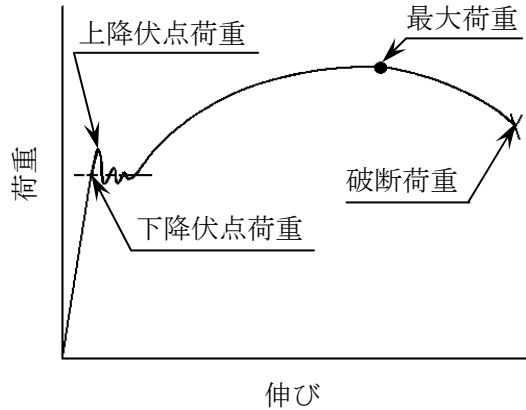


図2 荷重－伸び線図

- (3) 破断後、次の各値を測定する。
 - 1) 破断伸び：破断後の標点距離の垂直ひずみ

$$\delta = \frac{L - L_0}{L_0} \times 100 \quad [\%] \quad (1)$$

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て破断面を突き合わせて測定した標点間の長さ[mm]

L_0 : 原標点距離[mm]

- 2) 破断伸びの推定値

試験片の破断位置が標点間の中心から標点距離 1/4 を超え、標点以内である場合、標点間の中央で破断した場合の破断伸びの推定値は次式によって算出し、数値の後に (推定値) と付記する。(図3参照)

$$\text{推定値} = \frac{O_1A + 2AB - \text{標点距離}}{\text{標点距離}} \times 100 \quad [\%] \quad (2)$$

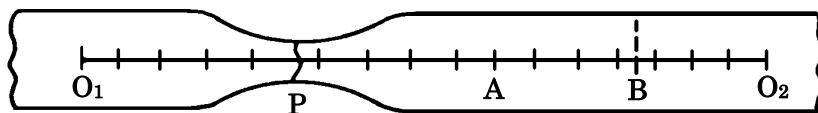


図3 破断伸び推定値の場合

A 点：短い方の破断片上の標点 (O_1) の破断位置 (P) に対する対称点に最も近い目盛
 B 点：長い方の破断片上の標点 (O_2) と A との間の等分数を n とし、 n が偶数のとき

は A から O₂ の方向に $n/2$ 番目の目盛, n が奇数のときは $(n-1)/2$ 番目の目盛と $(n+1)/2$ 番目の目盛との中点

- 3) 絞り : 原断面積に対する破断後の断面積の最大変化量

$$\varphi = \frac{A_0 - A}{A_0} \times 100 [\%] \quad (3)$$

A : 試験片の破断面を突き合わせて測定した最小断面積[mm²]

A_0 : 原断面積[mm²]

- 4) 真の破断応力 : 破断後の真応力 (単位は MPa)

$$\sigma_G = P_G/A$$

- 5) 各標点間の伸び (図 4)

- 6) 各標点の直径 (図 4)

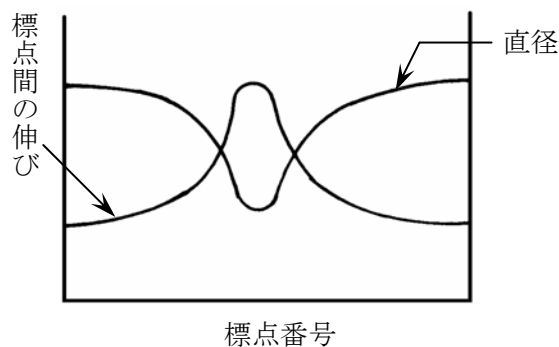


図 4 標点間の伸びおよび直径

3.4 課題

- (1) 50 kN までの負荷・除荷過程における応力とひずみをグラフに描き, 一本の直線を描く. その勾配からヤング率を算出する. また材料力学の教科書に示されている値と比較すること.
- (2) 実験から得られたデータ (荷重, 変位) を用いて破断に至るまでの応力-ひずみ曲線を描き, 真破断点および公称破断点等と比較すること.
- (3) 3.3 の(2), (3)で求める軟鋼の機械的性質の各順は JIS Z 2241 の規定に従って数値を丸めること. また, これらの値を材料力学の教科書に示されている値と比較し, 検討すること.
- (4) 破断面をスケッチし, なぜこのような形状になるかを推察せよ.

3.5 参考文献

- (1) JIS Z 2241:2011 金属材料引張試験方法

4. 硬さ試験

4.1 ブリネル硬さ試験 (Brinell hardness)

超硬合金球の圧子を用い、試料表面に球状のくぼみをつけたときの試験力と、圧子と同じ球形の一部と仮定して求めたくぼみの表面積とから、次の式で算出した値。

$$HBW = 0.102 \frac{F}{S} = 0.102 \times \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (4)$$

ここで、HBW はブリネル硬さ値、 F は試験力[N]、 S はくぼみの表面積[mm²]、 D は球圧子の直径[mm]、 d はくぼみの平均直径[mm]である。

4.1.1 試験方法

- (1) 硬さ記号と球圧子の直径及び試験力との対応は、表 1 による。くぼみの直径は、 $0.24D \sim 0.6D$ の範囲となるように選ぶのがよい。
- (2) 隣接するくぼみの中心間の距離は、 $3d$ 以上、また、くぼみの中心から試料の縁までの距離は、 $2.5d$ 以上とする。
- (3) 試験力は衝撃、振動、行き過ぎを伴うことなく、徐々に増加して、規定の大きさにする。試験力を加え始めてから終わるまでの所要時間は 2~8 秒とする。
- (4) 試験力を規定の大きさに保つ時間は、10~15 秒とする。
- (5) 試験は、一般に 10~35 °C の範囲内で行う。ただし、温度管理時は、 23 ± 5 °C の温度で行う。

4.1.2 くぼみの測定及び硬さ値の算出

- (1) ブリネル硬さは、くぼみの直交する二方向の直径の平均値を用いて算出する。硬さ値は、JIS Z 8401 (数値の丸め方) によって有効数字 3 桁に丸める。
- (2) 硬さの表示 ブリネル硬さは、硬さ値、硬さ記号、球圧子の直径、試験力の順に表示する。
(例：350HBW5/750・・・ブリネル硬さ値：350，球圧子直径：5 mm，試験力：7.355 kN)

4.2 ロックウェル硬さ及びロックウェルスーパーフィシャル硬さ (Rockwell and Rockwell superficial hardness)

表 1 硬さ記号及びその条件

硬さ記号	圧子の直径 mm	$\frac{0.102F^*}{D^2}$	試験力 F
HBW 10/3000	10	30	29.42 kN
HBW 10/1500	10	15	14.71 kN
HBW 10/1000	10	10	9.807 kN
HBW 10/500	10	5	4.903 kN
HBW 10/250	10	2.5	2.452 kN
HBW 10/100	10	1	980.7 N
HBW 5/750	5	30	7.355 kN
HBW 5/250	5	10	2.452 kN
HBW 5/125	5	5	1.226 kN
HBW 5/62.5	5	2.5	612.9 N
HBW 5/25	5	1	245.2 N

注* 試験力 F の単位は、N を用いる。

円すいダイヤモンド圧子，鋼球または超硬合金球圧子を用いて，まず初試験力を加え，次に全試験力（＝初試験力＋追加試験力）を加え，再び初試験力にもどしたとき，前後二回の圧子の変位差（永久形量） h によって表2の硬さ値（HR）の定義式から求めた値．初試験力が98.07 Nのときロックウェル硬さといい，初試験力が29.42 Nのときロックウェルスーパーフィシャル硬さという．ロックウェル硬さ及びロックウェルスーパーフィシャル硬さにおける圧子の種類，初試験力，全試験力及び硬さの定義式の組合せに固有の記号を設け，これをスケールという．硬さ記号とスケールの対応は，表2による．

4.2.1 試験方法

- (1) 硬さを測定するくぼみの中心間の距離は， $4d$ 以上（ d はくぼみの直径）で最小値は2 mmとする．また，くぼみの中心から試料の縁までの距離は $2.5d$ 以上で，最小値は1 mmとする．
- (2) 初試験力を負荷したときの圧子軸の位置は，その位置が指定されている試験機においては，その指定に従い，ダイヤルゲージ式試験機においては，基準位置（指針が真上の位置）に対して $\pm 5HR$ とする．
- (3) 全試験力保持時間は一般に2～6秒となる．
- (4) 試験中は，試験機に衝撃または振動を与えないようにする．
- (5) 試験温度は，一般に10～35℃の範囲で行う．ただし，管理条件下で行う試験の場合は， 23 ± 5 ℃の温度で行う．

表2 ロックウェル硬さ及びロックウェルスーパーフィシャル硬さ

	スケール	記号 (*)	圧子	初試験力 F_0 N	全試験力 F N	硬さの定義式	適用範囲 HR
ロックウェル硬さ	A	HRA	先端の曲率半径 0.2mm,	98.07	588.4	$HR = 100 - \frac{h}{0.002}$	20～95
	D	HRD	円すい角 120°の		980.7		40～77
	C	HRC	ダイヤモンド		1471		10～70
	F	HRF	鋼球又は超硬合金球		588.4	$HR = 130 - \frac{h}{0.002}$	60～100
	B	HRB	直径 1.5875mm		980.7		20～100
	G	HRG			1471		30～94
	H	HRH	鋼球又は超硬合金球		588.4		80～100
E	HRE	直径 3.175mm	980.7	70～100			
K	HRK		1471	40～100			
スーパーフィシャル硬さ	15N	HR15N	先端の曲率半径 0.2mm,	29.42	147.1	$HR = 100 - \frac{h}{0.001}$	70～94
	30N	HR30N	円すい角 120°の		294.2		42～86
	45N	HR45N	ダイヤモンド		441.3		20～77
	15T	HR15T	鋼球又は超硬合金球		147.1		67～93
	30T	HR30T	直径 1.5875mm		294.2		29～82
	45T	HR45T			441.3		10～72

注(*)球圧子の場合の硬さ記号は，表の硬さ記号に，鋼球のとき'S'を超硬合金のとき'W'を追加する．

表3 硬さの表示順

表示例	硬さ値	硬さ記号
59HRC	59	HRC
60HRBW	60	HRBW（超硬合金球のとき）
80HR15N	80	HR15N
62HR30TS	62	HR30TS（鋼球のとき）

4.2.2 硬さの求め方及び表示

- (1) 硬さ値は、特に指定のない限り、JIS Z 8401 (数値の丸め方) によって整数第一位に丸める。
- (2) ロックウェル硬さ及びロックウェルスーパーフィシャル硬さは、それぞれの硬さ値、硬さ記号の順に書いて表示する。

4.3 ショア硬さ試験 (Shore hardness)

試料の試験面上に一定の高さ h_0 から落下させたハンマーのはね上がり高さ h から求めた硬さ値であって、次の式で表される。

$$HS = k \frac{h}{h_0} \quad (5)$$

ここで、HS はショア硬さ値、 k ははね上がり高さ比 (h/h_0) をショア硬さとするための係数である。

4.3.1 試験方法

- (1) 硬さ測定の際に、試料を試料受台上に押さえつける力は、約 200 N とする。ただし、試料の質量が 20 kg 以上で、計測筒手持ちまたは特殊形状の支持台に取付けて試験する場合は、計測筒を試料に押しつける力は、計測筒が安定する程度の力でよい。
- (2) 試験機の操作は、注意深く行う。特に、指示形 (JIS B 7727 の D 形) における操作輪の回転時間は約 1 秒とし、そのもどしの操作は、ゆるやかに行う。目測形 (JIS B 7727 の C 形) においては、測定者は、瞬間的なハンマーの反発最高位置の読取りに習熟する必要がある。
- (3) 硬さを測定する位置は、試料の縁から約 4 mm 以上、くぼみ [打こん (痕)] 相互の中心距離は、1 mm 以上でなければならない。

4.3.2 硬さの求め方及び表示

- (1) ショア硬さは、五回連続した読みの平均値とする。ただし、明らかに測定上の誤りと認められる測定値は、再測定値に置き換える。
- (2) 硬さ値は、0.5HS まで読み取る。また、平均値は、JIS Z 8401 (数値の丸め方) によって整数に丸める。
- (3) ショア硬さは、硬さ値、硬さ記号の順に書いて表示する。(例: 30HSC, 50HSD)
- (4) 使用する試験機の形状に対応する記号を表示する必要のない場合は、試験機の形状を表す記号を省略してもよい。(例: 30HS, 50HS)

4.4 課題

- (1) 本試験で求めた軟鋼及び黄銅の各硬さの値を、機械材料関係のテキストに示されている値と比較してみること。
- (2) 軟鋼及び黄銅について、三種類の方法による硬さ間の関係を、「硬さ関係表」と比べてみること。

4.5 参考文献

- (1) JIS Z 2243 ブリネル硬さ試験－試験方法
- (2) JIS Z 2245 ロックウェル硬さ試験－試験方法
- (3) JIS Z 2246 ショア硬さ試験－試験方法