

マテリアル基礎実験

4. 材料試験

九州工業大学工学部
マテリアル 3年

担当	秋山哲也
	山本克己
	若山 登

(テキスト製作：秋山哲也，北村貴典，山本克己)

マテリアル基礎実験の授業に 必要な注意事項

学生との連絡はすべてメールで行う。

(例)

- ・各実験の合格通知
- ・次ページのレポート提出要領で修了しなかった学生へのレポート提出の最終期限通知など
- ・学生からの相談および相談に対する回答

従って、各自は自分のメールアドレスからレポートを添付ファイルで提出すること。（大学のパソコンなどから Yahoo のメールアドレスを利用すると便利と思われる）

レポート提出先

akiyamaa@tobata.isc.kyutech.ac.jp

レポート提出要領

1. レポートの表紙の書き方

マテリアル基礎実験 4. 材料実験 レポート
実験題目：△△△△△ 実験日：△△△
提出日：△△△
学生番号：△△△△△
実験者氏名：△△△△
共同実験者氏名 △△△, △△△△, △△△△

A4 サイズいっぱい大きく書く。

項目の順番を間違えぬよう注意する。

提出前にチェックする。

各自のメールアドレスから送信して提出する。

- (1) レポートの作成にはワードまたはエクセルを用いること。
- (2) 実験目的、実験方法については書かなくて良い。
- (3) 実験結果の整理と考察についてのみ書いて提出すること。記述もれがある場合あるいは記述が不十分な場合、すなわちレポートとしてふさわしくないものは採点の対象外とする（未提出扱いとする）。
- (4) 各自オリジナルのあるレポートを提出すること。
- (5) きわめて類似したレポートがあった場合には、連帯責任として類似したレポートの提出者は未提出と見なし、以後のレポートは図を除いてすべて手書きとする。
- (6) インターネットでキーワード検索を行い、分からない点を調べること。

2. 提出期限

提出期限は実験終了日から最初の月曜日 13時とする。

3. 最終提出期限

次ページ参照

提出できない者は最終提出期限までに秋山教宮室に来室して申告する。

4. 提出場所

提出場所はメールアドレス akiyamaa@tobata.isc.kyutech.ac.jp. 不具合のあるレポートはメールで返却する.

メール件名の決まり:「例 引張試験のレポート レポート提出者の名前 九工大太郎」の場合「件名:引張試験九工大太郎」とすること.

5. 注意事項

レポートには結果および考察を指示された通りに記述する. 感想は不要. レポート表紙の各項目は正確に記述する. 休む(休んだ)時は欠席通知書と医師の支払い証明(レシートで可)を提出のこと.

実験が終わったら, 担当教員か T.A に結果を見せて許可をもらうこと.
次に揚げる相談には応じられない.

- ・ 図書館に参考書がないので考察が書けないなどの理由でレポートが完成しない.
- ・ レポートの提出前あるいは提出(再提出)後に何らかの理由でメール送信できなかったので, “どうしたらよいのか?”.

実験項目	頁
グループ 1 (A)引張試験	4
グループ 2 (B)曲げ試験	10
グループ 3 (C)硬さ試験	13

提出期限: 実験終了日から最初の月曜日 13時

再提出: 返却日から最初の月曜日 13時

最終提出期限: 実験終了日から3週間後の
月曜日 13時

最終提出期限が過ぎたレポートは正当な理由がない限り受け取らない.

(A) 引張試験 (JIS Z2241)

1. 実験目的

材料に引張力が徐々に作用したときに、材料が示す弾性性質であるヤング率、塑性変形後の性質である降伏点、引張強度、破断伸び、絞りおよび応力-ひずみ曲線を測定する。

2. 実験装置

(1) 供試材

丸棒引張試験片 15×300
(JIS Z2201 14A 号引張試験片)

(2) 引張試験機

インストロンタイプ引張試験機 1式

(3) その他

物差し(15cm)	1個
ケガキ針	1個
ノギス	1個
+ドライバー	1個

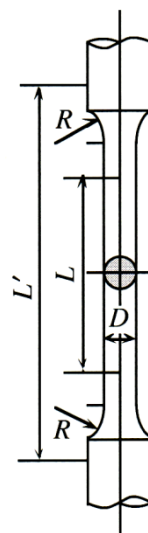


図1 試験片

3. 実験方法

(1) 図1に示す丸棒の中心部を基準にして標点距離 $L(=5D)=40\text{mm}$ を含む 70mm の間を 5mm 間隔にケガキする。物差しでケガキ線間隔を測定し記録する。

(2) 丸棒の直径 D をノギスで測定する。(6.1 ノギスの目盛りの読み方 参照)

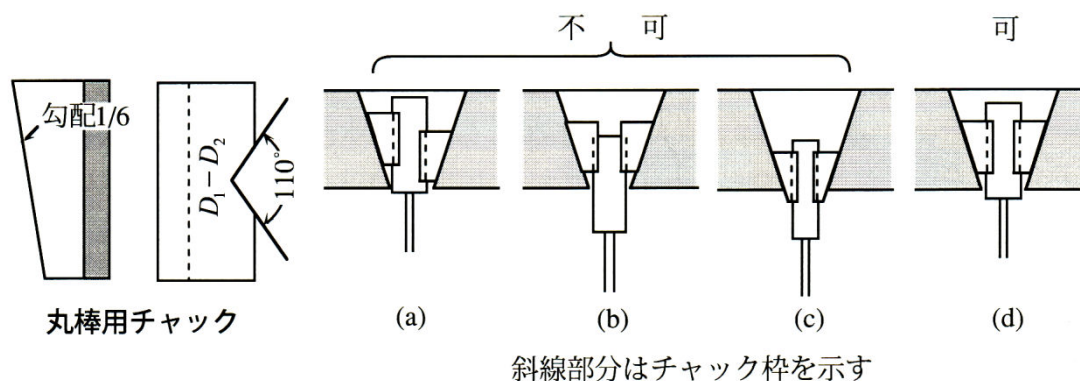


図2 チャックによる試験品の正しいつかみ方

(3) インストロン引張試験機 (以後、引張試験機と呼ぶ) の初期設定を、後掲6.2.

2に従い、確認する。

(4) ①MORTOR (引張試験機駆動部の電源) を ON にする。後掲 6. 2. 3 を参考に
して、クロスヘッドを移動させて、上側チャック部に試験片を取り付ける。大きな 2 本
のボルトを締めて、しっかり固定する。

(図 2 に示すチャックによる試験片のつかみ方に注意)

(5) ②RECORDER を ON にする。

(6) チャートペンのキャップを取り、再度セットする。

(7) 後掲 6. 2. 4 を参考に、ペンレコーダの零点調整を行う。

(8) 後掲 6. 2. 5 を参考に、ロードセルの零点調整並びにフルスケールの調整を行
う。

(9) 下側のチャックが十分開いていることを確認する。次に、TRAVERSE で、下側の
チャックに試験片が取り付けやすい位置に CROSS HEAD をもってゆく。

クロスヘッドの移動はすべて TRAVERSE で行い、SPEED は HIGH と LOW を適宜使
い分ける。

(10) 試験片下側をチャックでつかむ。大きな 2 本のボルトを締めて、しっかり固定す
る。

ここまでで、試験片のセットは完了である。

以下、引張試験を行う。

(11) 後掲図 5 操作盤上の⑥CHART を ON にする。

(12) チャートのフルスケールは 5t であるので、チャート上で 1t の位置を確認する。
次に、⑬CROSSHEAD SPEED を LOW にし、⑯TEST DOWN を押し、荷重を約 1t ま
で負荷し、続けて⑮STOP を押し、CROSSHEAD を停止する。

次に、TEST UP を用いて荷重を除荷し、負荷荷重を 0t にする。ここまでのチャー
トの記録をチャート 1 と呼ぶことにする。

(13) ⑯TEST DOWN を押し、試験片が破断するまで引張試験を継続する。ここで
得られるチャートの記録をチャート 2 と呼ぶ。試験片が破断するまでの間に、以下の実
験を行う。

(14) 荷重が一時的に低下する点が上降伏点に相当しており、荷重が次に増加し始める
点が下降伏点に相当しているため、それぞれの荷重を記録する。

(15) 試験片がくびれる現象が生じる。この現象をネッキングと呼ぶ。注意深く試験片
を観察し、ネッキングが生じ始めた時をチャート紙上に記録する。

(16) 試験片が破断したら、⑮STOP を押し、CROSSHEAD の動きを停止する。

(17) 試験片をチャックからはずす。

(18) 破断後の試験片をつなぎ、最小くびれ部の直径を 0-180 度、90-270 度の方向 に
それぞれ測定し、平均直径を求める。初期の標点距離長さ 40mm について、破断後の標
点間距離をノギスで測定する。

(19) 破断部近傍の局部収縮形状をスケッチする。

(20) 破面をスケッチする。

(21) 後片付けを行う。

4. 実験結果の整理

- (1) チャート 1 について、荷重と変位の関係をチャートから読み取り表にする(荷重の単位 kgf, 変位の単位 mm).
- (2) (1) で作成した表を基に、公称応力と公称歪の表に書き直し、さらにグラフ化する.
- (3) チャート 2 について、荷重と変位の関係をチャートから読み取り表にする(荷重の単位 kgf, 変位の単位 mm).
- (4) チャート 2 について、公称応力とひずみの関係を表にし(応力の単位 MPa), さらにグラフ化する.
- (5) 破断部近傍の局部収縮形状をスケッチして特徴を表す図を作る.
- (6) 破面のスケッチをして特徴点を表す図を作る.

5. 考察

- (1) 公称応力-ひずみ線図および真応力-ひずみ線図を示し、真応力、真ひずみ、公称応力、公称ひずみについて記述しなさい。ただし、平行部を 70mm とする。ケガキ線間の伸びのデータも参考値にして、考察に利用しなさい。
真応力を求めるときに絞りを利用しなさい。
- (2) 上降伏点、下降伏点、伸び、絞り、降伏比の定義を示し、値を求めよ。
- (3) 弾性係数 E (単位 GPa), 加工硬化指数について記述し、値を求めよ。
- (4) 延性破面と脆性破面について記述せよ。
- (5) 各ケガキ線間の伸びを測定し、グラフ化せよ。
- (6) チャートから算出した破断伸びとケガキ線から測定した破断伸びを比較し、考察せよ。

6. ノギス、試験片固定ジグ、引張試験機の使用法

6. 1 ノギスの目盛りの読み方

- (a) 副尺の 0 が主尺のどの辺にあるかを見る。(主尺の目盛りは 0.5mm 間隔)
図 3 の場合には、副尺の 0 は主尺の 12mm と 13mm の間にあるから、12mm と記録しておく。
- (b) 次に、副尺の線と主尺の線が一直線になっている位置の副尺の目盛りを読む。
図 3 の場合では 5.5, すなわち 0.55mm となる。
最後に(a)と(b)を合計すると(12+0.55=12.55)となり、12.55mm が読み取り値となる。

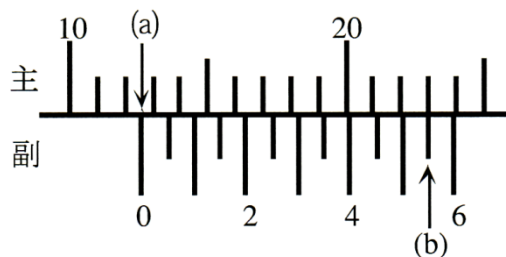


図 3 ノギスの目盛り

6. 2 引張試験機の使い方

6. 2. 1 主要部の名称

図4に、引張試験機主要部分の写真とその名称を示す。

上部に、荷重を測定するセンサーがあり、ロードセルとよぶ。引張試験を行うために上下に移動する部分をクロスヘッドと呼ぶ。試験片をクランプ（つかみ固定）する部分をチャック部と呼び、通常、平板試験片用と丸棒試験片用の2種類のチャックがある。写真はどちらのチャックもセットされていないチャック部を示している。

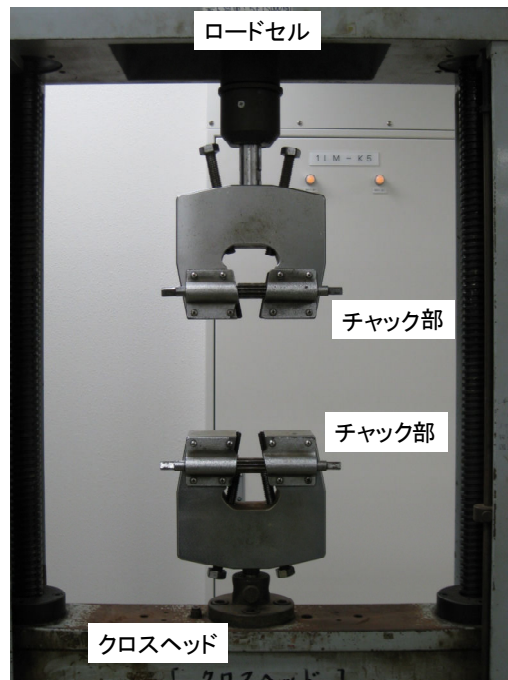


図4 主要部名称

6. 2. 2 電源投入前の初期設定の確認

図5に、制御盤上の主要部の名称と初期設定を示す。以下に述べる状態に設定されていることを確認する。

- ①MORTOR 引張試験機駆動部の電源
OFF
- ②RECORDER チャート式記録計の電源
OFF
- ③CELL SELECTOR ロードセルの種類の設定
A
- ④LOAD SELECTOR チャート式記録計のフルスケール（最大値）の設定
1 （最大値 5t）
- ⑤MODE チャート式記録計の使い方の設定
X-T 荷重—時間 曲線のこと
- ⑥CHART チャート紙送りの電源
OFF
- ⑦MORTOR 記録計のペン移動用モータの電源
X-ON Y-OFF

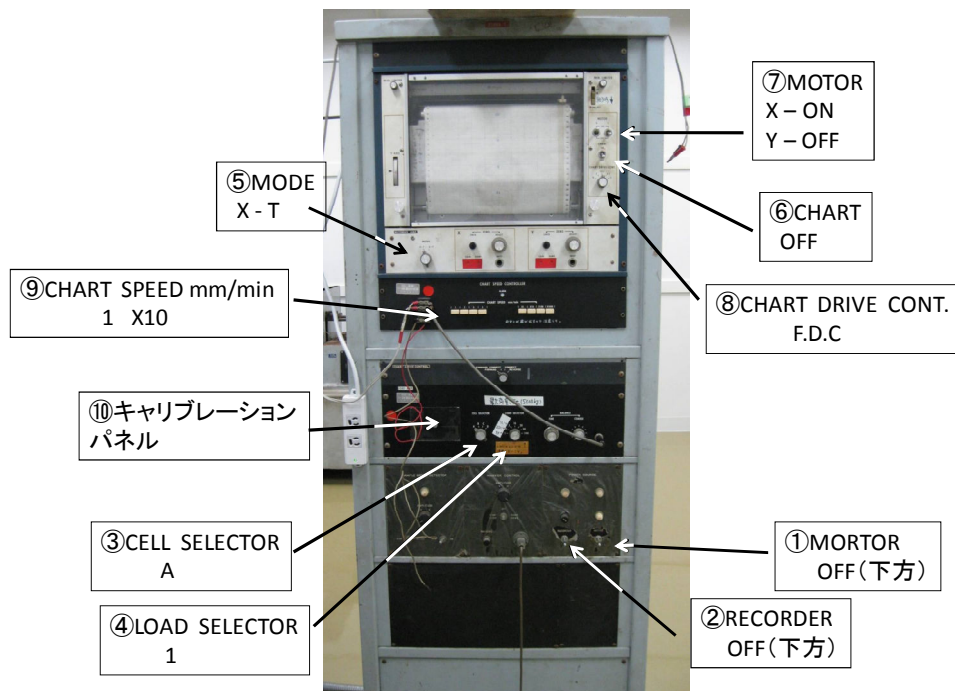


図5 制御盤

- ⑧CHART DRIVE CONT. チャート紙の移動開始の条件
F.D.C フォワードドライブコネクト；引張試験の開始と連動して記録を開始する
- ⑨CHART SPEED チャート紙の送り速度
1 × 10 10 mm/min でチャート紙は移動する.
- ⑩キャリブレーションパネル
ロードセルの零点とフルスケールの調整時に使用する。
初期設定時には、何もしない。

- 次に、クロスヘッドの移動速度を設定しておく。図6を参考にして、
- ⑪TRAVERSE 試験片の取り付けなど引張試験以外の通常のクロスヘッドの移動
HIGH 200 (mm/min)
 - ⑫TEST 引張試験時のクロスヘッドの移動
LOW 1 (mm/min)

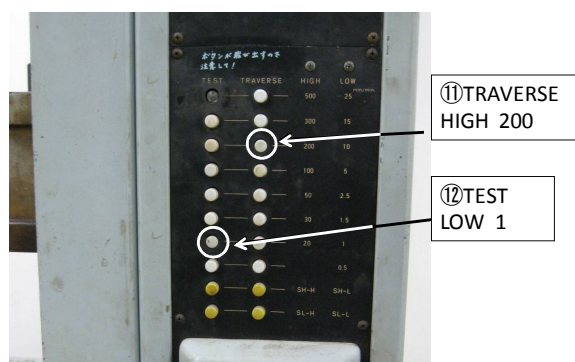


図6 クロスヘッドスピードの設定

6. 2. 3 クロスヘッドの移動方法

図7に、クロスヘッドの移動に関する操作パネル部を示す。図6に示したクロスヘッドスピードの選定において、HIGHとLOWの切り替えを行うのが、図7の⑬CROSSHEAD SPEED である。

試験片の取付など引張試験以外の移動では、⑬でHIGHを選び、⑭TRAVERSEのUPもしくはDOWNを押し、クロスヘッドを移動させる。移動を停止させるときには、⑮STOPを押す。

引張試験を行う場合には、⑬でLOWを選び、⑯TEST DOWNを押す。引張試験を停止する場合には、⑮STOPを押す。



図7 クロスヘッドの操作

6. 2. 4 レコーダの零点調整

ペンを下し、図8に示す黒ボタンを押したまま、アジャストつまみを回して、レコーダのペンが零の位置（チャート紙メモリ上の右端）を示すように調整する。

黒ボタンから手を離れたときにペンの位置が零の位置からずれる場合もあるが、それは、後で行うロードセルの零点調整で調整するので、ここでは気にしなくてよい。

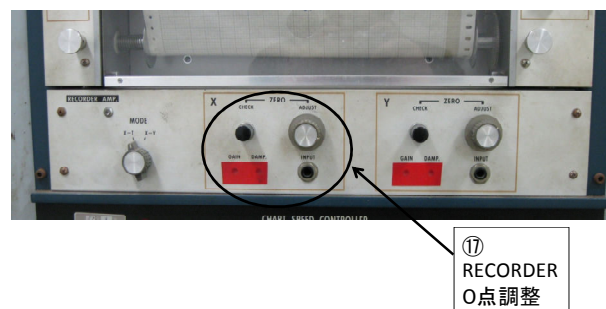


図8 ペンレコーダの零点調整

6. 2. 5 ロードセルの零点調整並びにフルスケール調整

図9に、調整に用いるつまみを示す。これは、図5に示した制御盤上の⑩キャリブレーションパネルのふたを開けると現れる。

まず、零点調整を行う。⑬のレバーを右に倒した状態で、ペンレコーダのペンが零を示していない場合には、備え付けのマイナスインドロイバーで、零点を示すように調整する。

次に、フルスケール調整を行う。⑭のスイッチを右に倒すと、レコーダのペンが大きく移動する。ペンがチャート紙上の最大メモリ（左端）を示していない場合には、図中CAL. つまみを用いて、ペンが左端を示すように調整する。

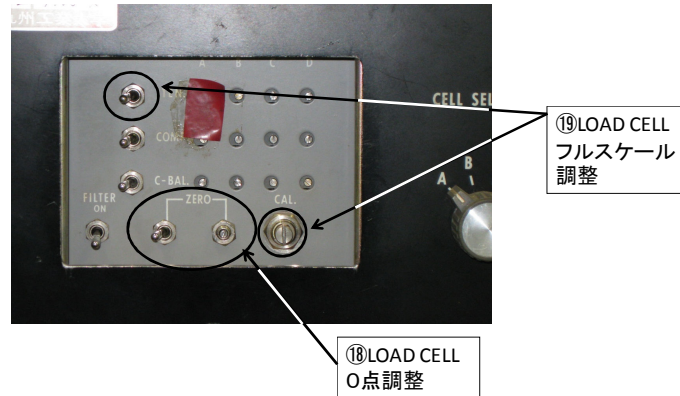


図9 ロードセルの調整

(B)曲げ試験

1. 実験目的

片持梁を用いて、曲げ応力、たわみと荷重の関係を知る。ひずみ(応力)を求める装置である静ひずみ計の原理を理解し、その使用法も勉強する。

2. 実験装置および供試材

(1) 静ひずみ計		1 台
ブリッジボックス		1 個
(2) 実験用梁		
鋼製試験片	500×30×9	1 個
アルミニウム製試験片	500×30×9	1 個
(3) ひずみゲージ(貼り付け済み)		4 枚
(4) 荷重用おもり	1kg 重	5 個
(5) 変位計		
ダイヤルゲージ(フルスケール 10mm)		1 個
マグネット台		1 個
(6) その他		
物差し(30cm)		1 個

3. 実験方法

- (1) 鋼製梁にひずみゲージが貼り付けられているのを確認する。
- (2) リード線をブリッジボックスの A, B ; B, C に接続する。図 2 に示すように C-c, D-d 間が結ばれている(短絡という)ことを確認する。
(後述の 6 節 “静ひずみ計の原理” 参照)
- (3) 静ひずみ計の電源コード(静ひずみ計の裏に格納されている)を 100V コンセントに、ブリッジボックスからの線(ケーブルと呼ぶ)を静ひずみ計につなぐ。
- (4) 静ひずみ計の電源を USE にする。ボタン BAL は IN に、RANGE は“0”に、POST は NORMAL に、ゲージは 4GAGE を押す。
- (5) TEN, CHECK, COMP のつまみを TEN にし、中央の大きなダイヤルで目盛りをゼロに合わせた後に、BAL のつまみを回して、針が中央のゼロの位置になる様にする。ならない時は結線のミスである。
- (6) ダイヤルゲージを梁の点 A にセットし、無負荷時の値を記録する。マグネット台は動かない所にセットすること。
- (7) 梁の自由端に荷重を 1kgf 負荷して、中央の大きなダイヤルを回して、針が中央のゼロの位置にくる値を読む。また、自由変位を読む。5kgf まで負荷する。次に、1kgf 間隔で除荷する。これを 3 回行う。
- (8) 荷重点と固定端の距離、固定端とひずみゲージ中心までの距離、および固定端とダイヤルゲージまでの距離を物差しで測定する。
- (9) 次に、鋼製梁をアルミニウム合金製梁に変更して、鋼製梁と同じことを行う。
- (10) 後片付けを行う。

4. 実験結果の整理

- (1)荷重とたわみの関係を表に表す(荷重の単位 kgf, たわみの単位 mm).
- (2)荷重とひずみの関係を表に表す.

5. 考察

- (1)梁表裏面の曲げ応力とモーメントの関係を鋼, アルミニウム合金について図に示す(応力の単位 MPa, モーメントの単位 Nmm).
- (2)鋼, アルミニウム合金のヤング率を求める(ヤング率の単位は GPa).
- (3)自由端変位の実験値と(2)のヤング率を用いて, 理論計算したたわみの計算値を表に示し, 比較して考察せよ.
- (4)ひずみゲージの原理を説明せよ.
- (5)片持梁, ひずみゲージ2枚を使用して, ポアソン比を求める方法を示せ.
- (6)ひずみゲージを利用している例を3つ示し, 詳細に説明しなさい.

6. 静ひずみ計の原理

図1に示す Wheatston Bridge (以後, ブリッジと呼ぶ) に電圧 E を負荷し, $R_1=R_2=R_3=R_4$ の抵抗を与える. この場合には, 出力電圧 e は次式となる.

$$e = \left(\frac{R_1}{R_1+R_2} - \frac{R_4}{R_3+R_4} \right) E = 0$$

次に, 抵抗 R_4 にひずみゲージの抵抗を与える. 無荷重のときの抵抗値を R としておく. 外力の変化による抵抗値の変化量を ΔR とすると, 上式は

$$e = \frac{\Delta R}{2(R + \Delta R)} E \cong \frac{E}{4} \frac{\Delta R}{R}$$

となる.

ひずみゲージはひずみ ε と抵抗値の変化 ΔR が次式で与えられる

$$\frac{\Delta R}{R} = K\varepsilon$$

ただし, K : Gauge Factor ($\cong E/2.0$) で定数

ように作られているため, ひずみ ε は出力電圧 e と次式に示すように線形関係にあり,

$$e = \frac{E}{4} K\varepsilon$$

電圧変化 e よりひずみ ε が求められる.

図2に示すように, ブリッジボックスの A_1, A_2, D_1, D_2 はブリッジの4つの抵抗であり,

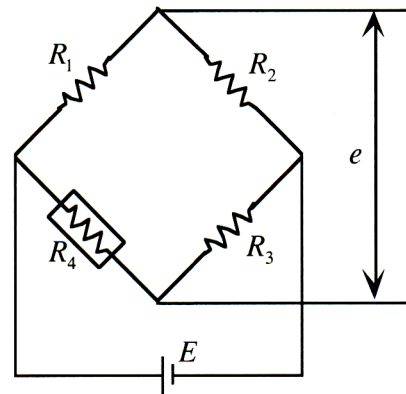


図-1 ブリッジ

A_1 は R_4 , A_2 は R_2 , D_1 は R_3 , D_2 は R_1 に対応している. また, ブリッジボックスの内部には抵抗値 R の抵抗が R_1 , R_2 , R_3 に対応して内蔵されている.

端子Cc間とDd間を結線すると内部抵抗 R_1 と R_2 がブリッジに接続されたことになり, 端子AB間とBC間のひずみゲージを結線すると, 外部抵抗 R_4 (ひずみゲージの抵抗)と R_3 (ひずみゲージの抵抗)が接続されたことになる.

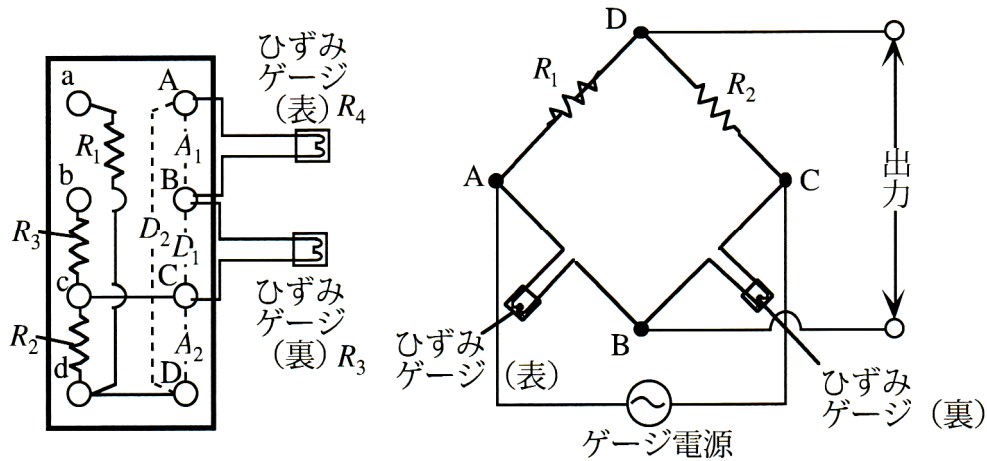


図2 ブリッジボックスの構成

(C) 硬さ試験

1. 実験の目的

硬さ試験は短時間で材料の機械的性質を類推できる試験方法であるため、工業的に良く用いられる。それは硬さが材料の引張強さ、塑性変形抵抗、耐摩耗性などに関連性を持っているからである。この硬さ試験方法の一つであるビッカース硬さ試験方法を理解するとともに、溶接継手の硬さ分布から機械的性質を類推する。

2. 実験装置および供試材

- | | |
|-----------------------|-----|
| (1)ビッカース硬さ計 | 1 台 |
| (2)研磨し、ビッカース試験を行った試験片 | 2 個 |
| (3)物差し(30cm) | 1 個 |

3. 実験方法

- (1)後述の「ビッカース硬さ計の使用手法」を読み、使用手法を理解する。
- (2)荷重 500g でビッカース硬さ試験を行ったアルミニウムの試験片を使用して、圧痕径 d_1 , d_2 を測定する。
- (3)溶接部中心からの距離と圧痕位置の関係を測定する。
- (4)荷重 1kg でビッカース硬さ試験を行った鋼の試験片を使用して、圧痕径 d_1 , d_2 を測定する。
- (5)溶接部中心からの距離と圧痕位置の関係を測定する。
- (6)後片付けを行う。

4. 実験結果の整理

- (1)溶接部中心からの距離とビッカース硬さをまとめた表を 2 つ(アルミニウムと鋼)。ビッカース硬さ H_V は荷重 P (kgf) と圧痕径の平均値 d (mm) より次式で与えられる。

$$H_V = 1.854 \frac{P}{d^2} \quad (\text{慣習で無次元値であらわす。})$$

- (2)溶接中心を原点にして、溶接継手部の硬さ分布を示した図

5. 考察

- (1)ビッカース硬さの定義を文献や便覧で調べて説明しなさい。
- (2)硬さと降伏強さ、硬さと引張強さの関係を文献や便覧で調べて記述する。
- (3)溶接継手の硬さ分布を参考にして、溶接線に直角方向に引張った場合に、破断する位置はどこかを記述し、理由を述べなさい。
- (4)ロックウエル硬さ、ブリネル硬さを説明しなさい。
- (5)ビッカース硬さとロックウエル硬さ(Cスケール)の相関図を示しなさい。

6. ビッカース硬さ計の使用法

(1)実験で使用するビッカース硬さ計の各部位の名称を図1に示す。

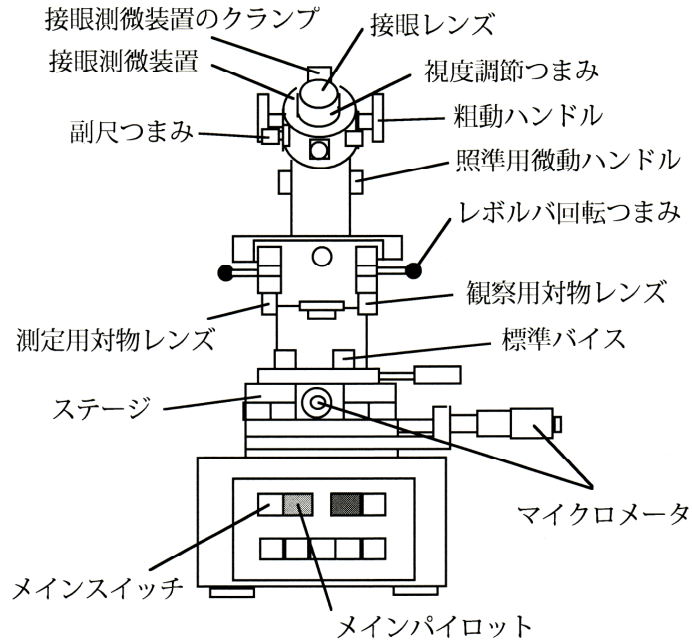


図1 ビッカース硬さ計

各部位の名称

- ・ステージ ・標準バイス ・レボルバ回転つまみ ・観察用対物レンズ
- ・粗動ハンドル ・メインスイッチ ・メイン・パイロット ・接眼レンズ
- ・マイクロメータ ・対物レンズ ・測定用対物レンズ ・照準用微動ハンドル
- ・揚窓調節つまみ ・接眼制微装置 ・接眼測微装置のクランプ ・接田淵微装置
- ・副尺つまみ ・副尺 ・目盛り

- (2)レボルバ回転つまみを持ってレボルバを回転し、観察用対物レンズ(10倍)を光軸に入れ、低倍率で観察する準備をする。
- (3)粗動ハンドルを回して、対物レンズとステージの間に、試験片を出し入れするために十分な間隔をあける。
- (4)試験片をステージ上の標準バイスに挟み、しっかり固定する。試験片の上面が水平になっていることを目視で確認する。さらに試験片側面を軽く触って、グラツキが無いことを確認する。グラツキがあるまま実験を継続すると試験機の光学系を破損する場合がありますので、グラツキが取れない場合にはティーチングアシスタント(T.A)に連絡する。
- (5)メインスイッチを入れる。メイン・パイロットが点灯することを確認する。点灯しない場合には、T.A に連絡する。

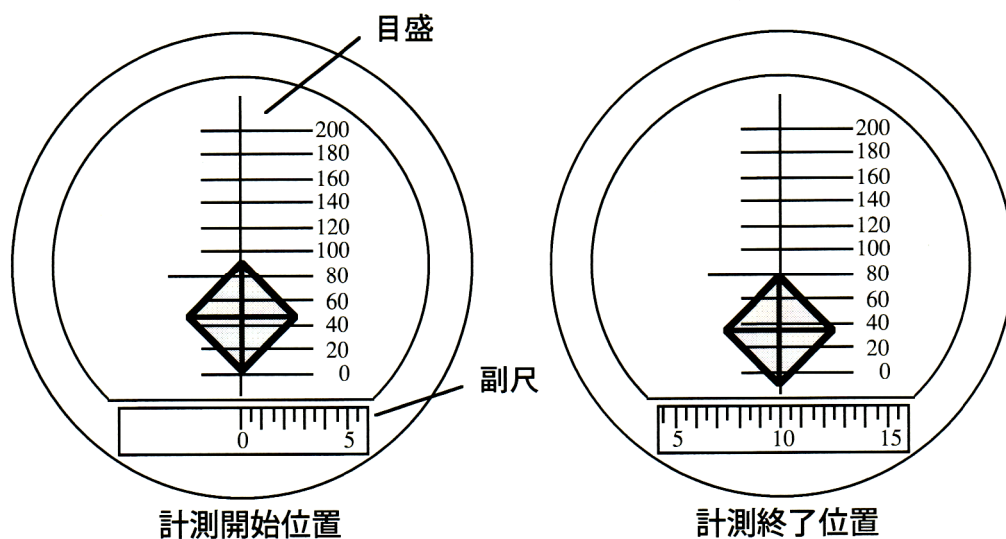


図2 副尺の使い方

- (6)試験片上面と観察用対物レンズの距離が約 10mm になるまで、粗動ハンドルを回して、観察用対物レンズを試験片上面に近づける。
- (7)図 2 は、ビッカース硬さ計の接眼レンズをのぞいたときに見える視野を示している。目盛りと副尺が見える。接眼レンズをのぞきながら、試験片上面の研磨面に焦点が合うまで、粗動ハンドルを回して、対物レンズを引き上げる。
- (8)試験片表面を肉眼で見たとき、緑色の光のスポットが当たっている所が、ほぼ観察している領域に相当している。このスポット内に圧痕が入るように、マイクロメータのつまみを回して、試験片を移動させる。
- (9)接眼レンズをのぞきながら、マイクロメータのつまみを回して、視野の中央に圧痕を移動する。
- (10)レボルバ回転つまみを用いて、対物レンズを測定用対物レンズ(40 倍)に換える。操作は、ゆっくりと、対物レンズが試験片上面に接触しないことを確認しながら行う。
- (11)接眼レンズをのぞきながら、照準用微動つまみを用いて焦点を圧痕に合わせる。マイクロメータを用いて、圧痕を視野の中央に移動させる。試験片上面と視野内の目盛りの両方に同時に焦点が合わない場合には、試験片表面に焦点を合わせた後に、視度調節つまみを回して、目盛りもはっきり見える状態にする。
- (12)接眼測微装置のクランプ(右ねじ)を反時計方向に回してゆるめ、接眼測微装置をまわして圧痕の一方の対角線と視野内の目盛りの主軸を平行にし、接眼測微装置のクランプをしめる。
- (13)接眼レンズをのぞきながら、副尺つまみを回して、視野内の副尺の目盛りを“0”にあわせる。
- (14)視野内の目盛り主軸に平行にあわせた圧痕対角線の一端(目盛りの“0”に近い方)を正確に目盛り“0”にあわせる。

- (15)対角線の他端を挟む目盛りの小さい方の数値を記録する．例えば目盛りの80と100の間に対角線の端があったなら，小さい方の数値とは80のことで，対角線の長さは $80\mu\text{m}$ より長く $100\mu\text{m}$ より短いことが分かる．
- (16)つぎに，接眼レンズをのぞきながら副尺つまみを回して，対角線の端の位置を(15)で記録した目盛りに正確に一致させる．このときに副尺が示している数値が圧痕の移動距離で，さきの(15)で記録した値とこの副尺の値の合計が，対角線の長さになる．
- (17)(12)から(16)までの操作を，残る対角線についても行い，対角線の長さの平均値を算出する．

(注) 硬さを測定するくぼみの中心間の距離は， $4d$ 以上 (d はくぼみの対角線)
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．