

課題情報シート

テーマ名 :	ヤング率測定装置の改良				
担当指導員名 :	寺島 周平	実施年度 :	25 年度		
施設名 :	東北職業能力開発大学校				
課程名 :	専門課程	訓練科名 :	生産技術科		
課題の区分 :	総合制作実習	学生数 :	1	時間 :	12 単位 (216h)

課題制作・開発のポイント

【開発（制作）のポイント】

機械工学実験などの学生実験では、操作が簡単な機器を多く揃え、学習者が1～2人で1台ずつを操作しながら実習を行うことが望ましいのですが、市販の実験装置は一般にきわめて高価です。そこで本課題では、応力くさびの実験や柱の座屈など、材料力学で特に理解が困難な理論を習得するための強い動機づけとなりうる、小型、廉価な学生用の測定装置を製作しました。

【学生数の内訳】 設計・製図、機械加工 5 名（すべての工程を均等に分担させる）

【訓練（指導）のポイント】

学習者が実用理論を理解するためには、測定精度が一定の水準に達していれば良いので、製作が簡単な本装置を量産することで、学生ひとり当たり一台の実験装置を割り当てるのが可能です。はりの応力くさびは、材料力学では周知の事実ですが、これを実験装置に具現化したものは、著者の知る限り見られません。ものづくりを教える教育訓練ならではの成果であると思われます。最後に、実験書を作成することで、文章作成能力など、コミュニケーション能力を高めることができます。

課題に関する問い合わせ先

施設名 : 東北職業能力開発大学校
住所 : 〒987-2223 宮城県栗原市築館字萩沢土橋 26
電話番号 : 0228-22-2910 (代表)
施設 Web アドレス : <http://www3.jeed.or.jp/miyagi/college/>

課題制作・開発の「予稿」および「テーマ設定シート」

次のページ以降に、本課題の「予稿」および「テーマ設定シート」を掲載しています。

ヤング率測定装置の改良

生産技術科 大川 真武 鹿野健太郎
鈴木 庸平 田川 雄士
中村 元気
指導教員 寺島 周平

1. はじめに

材料力学においてヤング率は部材の引張、曲げに対して共通する重要な物性値で、特に曲げに対しては断面二次モーメントと合わせて曲げ剛性と呼ばれている。前年度はこのヤング率のはりのたわみから求める学生実験装置を製作し、基礎工学実験に提供することができた、今年度はこの装置を改良して、曲げによるくさびの実験や、柱の座屈荷重実験が可能なユニットを追加した。また、支持部をくさびからローラに改良することで、部品点数を減らすなどの軽量化を行った。

この装置はダイヤルゲージ測定子の軌跡に対して、はりの中心線がわずかに傾いている状態でたわみ曲線を求めることができる。たわみの測定データに含まれる傾きの誤差を、簡単な後処理で補正することで、材料のヤング率を正確に求めることができる。

ところで、はりの曲げ応力は棒の上下表面で、引張・圧縮状態になる。したがって、変形前にまっすぐな棒は曲線状に曲げられる。もし、はりの上側半分が圧縮状態になれば、下側では引張状態になる。弾性域の区間では、曲げ応力は深さ方向には直線分布する。しかし、はりの側面に、ひずみゲージを張り付けて、この応力くさびを観察することは、試験片の寸法や試験機が大型化するなどのデメリットがあり、学生実験ではあまり行われていない。そこで、この装置に、木製プレートを用いた応力くさびの実験、柱の座屈荷重が測定できる後付けユニットを追加した。

2. 理論

2.1 純曲げを受けるはりのたわみ

図1に突き出しはりを示す。このはりの断面図 x における曲げモーメントを M とすると、(1)式が成り立つ。

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = -\frac{M}{EI} \quad (1)$$

E はヤング率、 I は図心を通る水平軸まわりの断面二次モーメントである。横荷重を P とするとき、 x 断面における力のモーメントのつりあいから(2)が成り立つ。

$$M = Pa \quad (2)$$

M は断面の位置 x に依存しない一定値になる。(2)式を式(1)に代入してたわみ y に対する(3)式を得る。

$$y = \frac{-Pa}{2EI} \left[\frac{x^2}{2} + (-a - \frac{L}{2})x + \frac{a^2}{2} + \frac{aL}{2} \right] \quad (3)$$

実験で用いる試験片は円形断面で、その直径を r とすると断面二次モーメント I は

$$I = \frac{\pi}{64} r^4 \quad (4)$$

で与えられる。

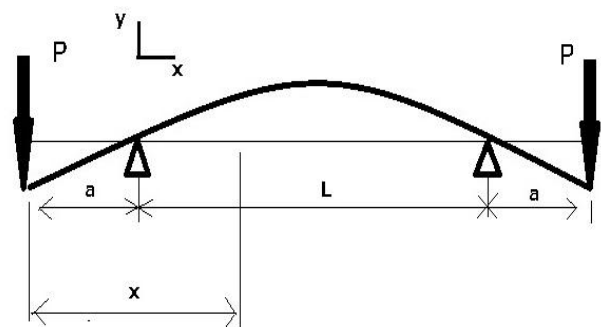


図1 突き出しはり

たわみの測定値を補正する原理を図2に示す。はり末端の測定位置 x_0 に対するたわみ y_0 と位置 x_1 におけるたわみ値 y_1 との差 $(y_1 - y_0)$ を補正前のたわみとしとする。

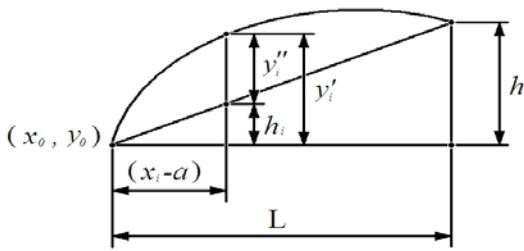


図 2 たわみの補正

$$y''_i = y'_i - h_i \quad (5)$$

ただし

$$h_i = \frac{(x_i - a)h}{L} \quad (6)$$

h は右側支点における支持点の高さである。

2.2 座屈荷重

細長い棒の軸方向に圧縮力を加えると突然横方向に曲がる。これを座屈現象といい、引張力より弱い力で起きる。図 3 に圧縮力を受ける両端支持はりの柱を示す。

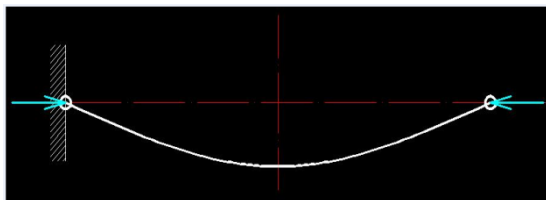


図 3 両端支持はりの長柱

座屈荷重 P を求める式は以下となる。 n : 端末係数 (両端回転の場合、 $n=1/4$ 、両端固定の場合は $n=1$)今回は両端回転なので以下すべて $n=1/4$ とする。

$$P = n \frac{\pi^2 EI}{L^2} \quad (7)$$

また、このときの軸方向の応力を座屈応力という。座屈応力 σ_c についてはオイラーの式があり、(8)式であらわすことができる。

$$\sigma_c = n \frac{\pi^2 EI}{(L/r)^2} \quad (8)$$

E :材料のヤング率、 L :材料長さ、 r :断面二次半径とする。断面二次半径 r は以下の式で求める。

$$r = \sqrt{I/A} \quad (9)$$

I :断面二次モーメント、 A :断面積とする。

(L/r) は細長比といい、一般にオイラーの式を適用する際には、この細長比が 100 以上であるのが好ましいといわれている。部材の長さや断面形状が分かれば、細長比を求めることができる。今回の場合、細長い丸棒の使用を前提とするので、丸棒の直径を d とすると、細長比は以下ようになる。

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{\pi d^4}{64} \cdot \frac{4}{\pi d^2}} = \frac{d}{4} \rightarrow \left(\frac{L}{r}\right) = 4 \frac{L}{d} \quad (10)$$

この実験で用いる丸棒は、 $L=250$ [mm]、直径 $d=3$ [mm]。 $L/r=333$ なのでオイラーの式を適用するのに十分な状態である。

2.3 曲げによる応力くさび

図 4 のような長方形断面をもつ木製合板の一端をフレームに設置したポリアセタール製の取り付け装置に取り付けばねばかりとヒンジで支持し、他端におもりで下向きの荷重を加える。さらにおもりの着点と同じ側には板の上下端面から高さの $1/6$ の位置に引張・圧縮荷重を測定できるばねばかりを取り付ける。この二つのばねばかりは、はりの断面に生じる応力くさびの図心における合力を測定する。この二つのばねばかりの表示とばねばかりの間隔を乗じたものが、はりに負荷したおもりとはりの長さの積に等しいことを確かめることを目的とする。

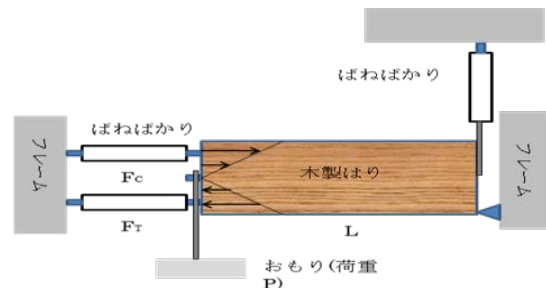


図 4 実験装置

3 製作

3.1 ヤング率測定装置

この装置に要求される仕様を以下に示す。

- (1) 最大荷重 1kg
- (2) ストローク 280mm
- (3) ダイアルゲージ ミットヨ 2046S®
- (4) 大きさ：150×100×585 (mm)

これらを踏まえて引張り機構の選定や製図を行い、製作をした。組み立て図を図5に示す。

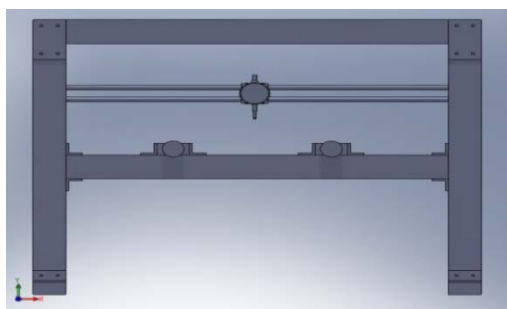


図5 ヤング率測定装置

ヤング率測定装置は、アルミフレームやブラケットをミスマの汎用品から選定した。そのため、機械加工は、フライス盤やボール盤を用いた穴加工がほとんどであった。

3.2 柱の座屈実験装置

図6には座屈試験装置の負荷部品を示す。図示の円筒缶の内部に鋼製球を少しずつ入れて、静負荷を与える。図示の下方に樹脂製丸棒を取り付けてこれを座屈させる。

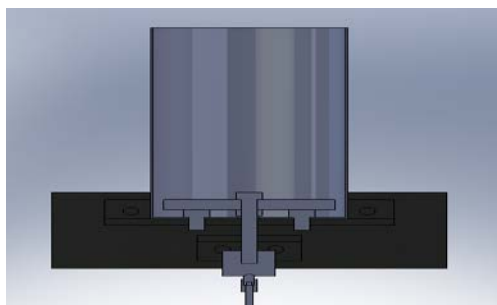


図6 座屈実験負荷部

3.3 応力くさび実験装置

装置はポリアセタール製のブロック2個に半円形の穴加工を施し、ばねばかりを挟み込むようにした。挟み込み時にばねばかりを破損しないように、2個のポリアセタールブロックは、ヘリサートを埋め込み、2つ合わせにしてばねばかりを固定する。はか

りの外装がプラスチックであるため取り付けるものの材質が硬すぎると締めたときに割れてしまう怖れがある。図7にこの取り付け装置の外観を示す。このブロックの寸法は縦70[mm]×横50[mm]×厚さ20[mm]とした。また、くさびはミスマ製の傾斜ブロックを使い、アルミ製の板でフレームに取り付けた。図8は、くさびの取り付け部品の外観である。

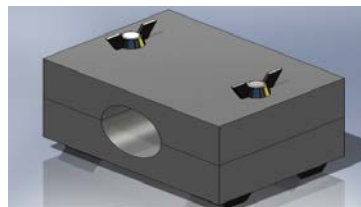


図7 はかり取付部品

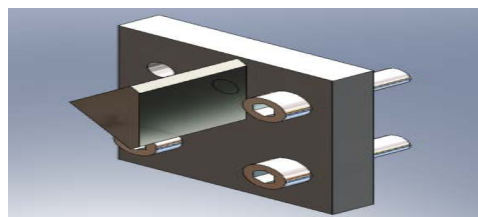


図8 くさび支持部品

4. 測定方法

4.1 ヤング率の測定

シリンダゲージを片方の支点にあわせて x, y の原点とする。その後 L を 10~11 分割した場所 x でそれぞれのたわみ y を測定していく。その後上の式にそれぞれの値を入力するとヤング率が算出される。

4.2 柱の座屈荷重の測定

測定装置の可動部の上にペットボトルを置き、水を少しずつ注ぐとやがて試験片は横方向に曲がる。このときの水の入ったペットボトルの重さを測定して座屈荷重を求める。

4.3 曲げによる応力くさびの測定

先に次式より理論値を求めておく。Pはおもりの重量、Lは木製の長さ、hは高さである。

$$F = \frac{3PL}{2h} \quad (11)$$

垂直に取り付けたはかりと水平に取り付けた2本のはかりのうち、下側のはかりのフックを木製合板のリングに掛ける。水平な上側のはかりのフックは黒い樹脂製の先端部を合板の側面に当てる。このとき、はかりの目盛りが0になっていることを確認する。次に

フレームに取り付けたくさびを移動させ、合板の側面に添えるようにして当て、支点とする。この状態から合板の左側面の中央のフックにおもりを吊るす。くさびを回転中心にした反時計まわりのモーメントとつりあう偶力を水平な2本のはかりで支える。実験者はこの水平な、はかりの目盛りを読み(11)式と等しいことを確かめる。

5. 測定結果

5.1 ヤング率測定装置の実験結果

測定したはりのたわみを図9に示す。青色の線が高さ補正前、ピンク色の線が高さ補正後のたわみである。

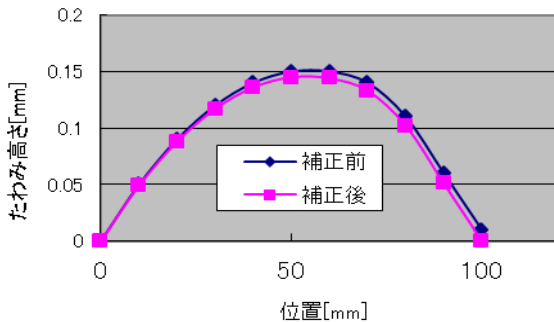


図9 S45Cにおけるたわみ高さ

支点から位置ごとのヤング率のグラフを図10に示す。理論上は一定の値であるが、勾配が大きくなる支点付近では値のふれが大きい。

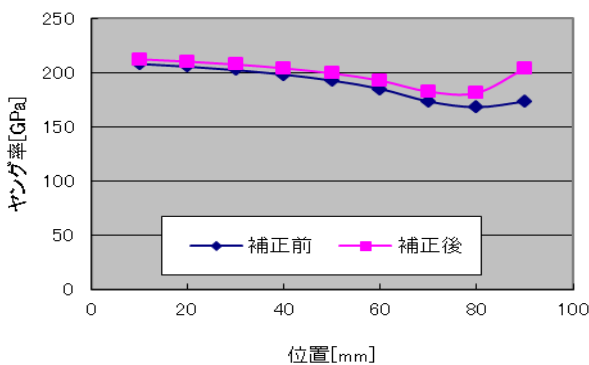


図10 S45Cの各測定点におけるヤング率

測定した結果は表1に示す。

表1 測定結果

	高さ補正前の ヤング率 E[GPa]	高さ補正後の ヤング率 E[GPa]	カタログ 値
アルミ	75.3	75.4	70
S45C	192.2	194.8	205

昨年の卒研生の測定データでは、冷間圧延鋼のヤング率は205GPaが得られた。それに対して測定値247GPaだったので、測定精度が向上したことがわかる。

5.2 座屈荷重の結果

アルミ、黄銅、ポリアセタール、フッ素樹脂のうち座屈荷重の小さいフッ素樹脂は非常に柔らかく、実験装置の可動部の重さで座屈を起こすため、実験が難しいことがわかった。そのため、ポリアセタールで実験を行った。実験に使った試験片はすべて長さ250[mm]、直径3[mm]である。ポリアセタールの座屈荷重を計算したところ、1.63[N]であることがわかった。装置の可動部にペットボトルを置き、水を注いで座屈荷重を測定することにした。その結果、測定した座屈荷重はおよそ1.67[N]であった。今後は測定誤差を小さくするためにブラケットの穴にすべり軸受けを設け、ほかの機能の部分との干渉を避ける工夫をすることが課題となる。

5.3 曲げによる応力くさびの実験

おもりは0.5[kg]、1[kg]の2つを用いる。このときの引張・圧縮力の理論値は、吊り下げるおもりの重さや、はりの寸法により変わる。今回は、合板の寸法は一定で、おもりの重さだけを変える。(11)式から求めた理論値は、0.5[kg]のとき $F=22.1$ [N]、1[kg]のとき $F=48.6$ [N]となる。一方、水平なはかりの読みは、0.5[kg]のとき $F_c=5$ [N]、 $F_f=1$ [N]となり、1[kg]のとき $F_c=5$ [N]、 $F_f=0$ [N]になり、理論値と差が生じた。

6. おわりに

このテーマを次年度も継続するのであれば、より汎用性の高いものにしていただき、機械技術者のレベルアップの一助となれば幸いである。

7. 参考文献

- 1) ミスミ FAメカニカル標準部品 2012
- 2) 日本スプリュー 総合カタログ
- 3) 株式会社島津理化 カタログ
http://www.shimadzu-rika.co.jp/kyoiku/butsuri/chikara_undb/103_748.html
- 4) 技術ノート ヘリサートについて
佐藤高之 工作技術センター機械工作部門 研究支援課
- 5) 座屈について
<http://materiallab.seesaa.net/article/155240497.html>
- 6) H24年度卒業制作 ヤング率測定装置の製作
- 7) 基礎から学べる材料力学 伊藤勝悦 森北出版

作成日： 5月 9日

科名：生産技術科

教科の科目		実習テーマ名	
総合制作実習		ヤング率測定装置の改良	
担当教員		担当学生	
○寺島 周平		中村 元気	鹿野 健太郎
		大川 真武	鈴木 庸平
		田川 雄士	
課題実習の技能・技術習得目標			
<p>材料力学のはりの理論や、柱の座屈理論を理解させる。実験装置の製作を通して、CAD から加工組立作業を一貫して経験させることにより、基礎力アップを図る。</p>			
実習テーマの設定背景・取組目標			
実習テーマの設定背景			
<p>学生実験では、操作が簡単な機器を多く揃え、学習者が1～2人で1台ずつを操作しながら実習を行うことが望ましいが、市販の実験装置は一般にきわめて高価である。また、はりの断面に生ずる応力くさびや、柱の座屈におけるオイラーの公式の精度など、理解が困難な考え方は、実験を通じて理解することが不可欠である。このために使用する小型で安価な学生実験用の実験装置を製作した。</p>			
実習テーマの特徴・概要			
<p>昨年製作したヤング率測定装置を改良して、応力くさびの実験および、柱の座屈荷重試験ができる学生実験用の実験装置である。前者は、横荷重を受けるはりの断面に生ずる引張および圧縮応力を上下端面から1/6の位置に生ずる偶力をばねばかりで測定する実験装置である。後者は、フレームに取り付けたペットボトルに水を注ぎ、ポリアセタールの柱に圧縮荷重を加えて、これを座屈させる。柱の両端は、単純支持できるよう、プランジャを用いて柱を固定し、ペットボトルに少しずつ水を加えて、静的な圧縮荷重を加える。柱が横方向に「逃げる」ときの重量と、オイラーの公式で求めた荷重の大きさを比較する。</p>			
No	取組目標		
①	5S（整理、整頓、清掃、清潔、躰）の実現に努め、安全衛生活動を行います。		
②	課題を解決するために必要な情報を収集し、分析・評価して合理的な手順や方法を提案します。		
③	グループメンバーの意見に耳を傾け、加工スケジュールを厳守し納期に遅れないように、自主管理を行います。		
④	各自が与えられた役割を果たし、他をフォローし合って、グループのモチベーションを維持します。		
⑤	創意工夫をして、合理的な設計をします。		
⑥	CADを援用したメカニカル設計を行い、汎用工作機械を活用して完成を目指します。		
⑦	図や表を多用した報告書や発表会予稿原稿を作成し、発表会ではわかりやすいプレゼンテーションを行います。		
⑧	進捗状況や、発生した問題等については、単独、グループの場合にかかわらず、担当教員へ報告します。		