

## I 目的

いくつかの材料のヤング率と剛性率を測定する。

## II 原理

金属の棒に荷重をかけたときに生じるたわみによる降下量  $h$  を、光源  $L$  と同じ高さに設置されその光源からの入射光をたわみのない状態で水平に反射するように調整された鏡  $M$  が、荷重をかけてたわみを生じさせていくことによって鏡  $M$  から距離  $d$  の地点で反射光が移動する距離  $\Delta S$  を測定していくことによって逆算し、その降下量  $h$  からヤング率  $E$  を求める。

## III 方法

- i ナイフエッジの間に支持棒 1 本を奥に測定棒 1 本を手前にして間隔約 2cm で並べて乗せた。
- ii 鏡  $M$  の前足に荷重をのせるハンガーをつけ、これを測定棒の上、ナイフエッジの中心にセットした。
- iii レーザー  $L$  を鏡  $M$  と同じ高さにセットし、レーザー光が鏡  $M$  の中心に当たるようにレーザーの傾きを調整した。
- iv 荷重をかけない状態で鏡  $M$  が反射したレーザー光線がレーザー  $L$  とほぼ同じ高さでスケールに当たるように鏡  $M$  の傾きを調整した。
- v おもりを載せていないときのスケールの目盛( $S_0$ )を読んだ。おもりを 1 個ずつ乗せるたびにスケールの目盛を読み取って行った。7 個乗せ終わったら、おもりを 1 個ずつ外していき、その都度スケールの目盛を読み取った。
- vi 測定棒の厚さ  $a$ 、測定棒の幅  $b$ 、ナイフエッジの間隔  $l$ 、鏡とスケール間の距離  $d$ 、鏡  $M$  の前後の足の間隔  $r$  をそれぞれマイクロメーターやノギス、金尺を適切に使い測った。
- vii 支持棒および測定棒の素材を変更し、手順 i から vi を繰り返した。合わせて 3 種類の素材の測定を終了したところで実験を終了した。

## IV 実験結果

おもり 1 個の重さ 199.8g(7 個全て量り全て一致した)

- i 試料 1 カーボンファイバー強化プラスチック

表 1 様々な長さの測定結果

項目名	a [mm]	b [mm]	l [mm]	d [mm]	r [mm]
平均値	4.975	20.636	399.9	930.8	35.3
測定値	5.009	20.159	399.9	930.5	35.0
	4.982	20.616	399.8	931.0	35.6
	4.922	21.132	400.1		
	5.005				
	4.959				

表 2 試料(カーボンファイバー強化プラスチック)の測定結果

おもりの数	おもりの質量 [g]	スケールの値 [mm]	ヤング率 $E$
0	0	145.3	
1	199.8	155.8	$6.19 \times 10^{10}$
2	399.6	166.1	$6.25 \times 10^{10}$
3	599.4	176.5	$6.25 \times 10^{10}$
4	799.2	186.9	$6.25 \times 10^{10}$
5	999	197.3	$6.25 \times 10^{10}$
6	1198.8	207.6	$6.26 \times 10^{10}$

7	1398.6	218.0	$6.26 \times 10^{10}$
6	1198.8	207.6	$6.26 \times 10^{10}$
5	999	197.4	$6.24 \times 10^{10}$
4	799.2	187.2	$6.21 \times 10^{10}$
3	599.4	176.8	$6.19 \times 10^{10}$
2	399.6	166.6	$6.10 \times 10^{10}$
1	199.8	156.3	$5.91 \times 10^{10}$
0	0	146.0	
$\frac{\Delta m}{\Delta S}$ による値			$6.31 \times 10^{10}$

ii 試料 2 ステンレス

表 3 各種測定値

項目名	a [mm]	b [mm]	l [mm]	d [mm]	r [mm]
平均値	3.957	20.018	399.9	930.1	35.3
測定値	3.950	20.014	399.9	930.1	35.0
	3.968	20.022	399.8	930.1	35.6
	3.962		400.1		
	3.949				

表 4 試料(ステンレス)の測定結果

おもりの数	おもりの質量 [g]	スケールの値 [mm]	ヤング率 E
0	0	138.8	
1	199.8	145.9	$1.87 \times 10^{11}$
2	399.6	152.9	$1.89 \times 10^{11}$
3	599.4	160.2	$1.87 \times 10^{11}$
4	799.2	167.3	$1.87 \times 10^{11}$
5	999	174.5	$1.86 \times 10^{11}$
6	1198.8	181.7	$1.86 \times 10^{11}$
7	1398.6	188.9	$1.86 \times 10^{11}$
6	1198.8	181.8	$1.86 \times 10^{11}$
5	999	175.0	$1.84 \times 10^{11}$
4	799.2	167.8	$1.84 \times 10^{11}$
3	599.4	160.8	$1.82 \times 10^{11}$
2	399.6	153.8	$1.77 \times 10^{11}$
1	199.8	146.6	$1.71 \times 10^{11}$
0	0	139.6	
$\frac{\Delta m}{\Delta S}$ による値			$1.87 \times 10^{11}$

iii 試料 3 鉄

表 5 各種測定値

項目名	a [mm]	b [mm]	l [mm]	d [mm]	r [mm]
平均値	4.415	18.884	399.9	929.9	35.3

測定値	4.402	18.844	399.9	929.9	35.0
	4.418	18.870	399.8	929.9	35.6
	4.41	18.818	400.1		
	4.428				

表 6 試料(鉄)の測定結果

おもりの数	おもりの質量 [g]	スケールの値 [mm]	ヤング率 E
0	0	142.5	
1	199.8	147.4	$2.08 \times 10^{11}$
2	399.6	152.5	$2.04 \times 10^{11}$
3	599.4	157.6	$2.02 \times 10^{11}$
4	799.2	162.8	$2.01 \times 10^{11}$
5	999	167.9	$2.00 \times 10^{11}$
6	1198.8	172.9	$2.01 \times 10^{11}$
7	1398.6	178.0	$2.01 \times 10^{11}$
6	1198.8	173.1	$2.00 \times 10^{11}$
5	999	168.0	$2.00 \times 10^{11}$
4	799.2	163.1	$1.98 \times 10^{11}$
3	599.4	158.2	$1.95 \times 10^{11}$
2	399.6	153.1	$1.92 \times 10^{11}$
1	199.8	148.2	$1.79 \times 10^{11}$
0	0	143.2	
$\frac{\Delta m}{\Delta S}$ による値			$2.00 \times 10^{11}$

## V 考察

### i 試料 1 カーボンファイバー強化プラスチック

IV.i に測定結果をまとめた。表 1 に a,b,l,d,r の測定値を表 2 におもりの数に対するスケール S の値およびそれに関わる数値を計算してまとめた。

ヤング率 E はテキストより  $E = \frac{g \cdot l^3 d}{2 a^3 b r S - S_0} \cdot m$  (1) に測定した値を代入して計算し表 2 にまとめた。

表 2 の値を用いて、横軸に試料棒に掛けた負荷 m/g をとり、縦軸にスケールの目盛 S/mm をとって図 1 に黒のボールペンでグラフをプロットした。

グラフに近似直線を引いて求めた傾きを (1) に代入してヤング率を求めたところ、

$$E = \frac{9.80665 \times 10^3}{2} \frac{399.9^3 \times 930.8}{4.975^3 \times 20.636 \times 35.3} \frac{(83.8 - 21) \div 100 \times (230 - 130)}{(140 - 10) \div 160 \times (1500 - 0)} = 6.31 \times 10^{10} \text{ となった。}$$

また、テキスト p.p.27~p.p.28 を参照しながら最小二乗法によって、このグラフの 1 次式 ( $y=ax+b$ ) の近似直線の方程式を求めたところ、 $a = -2818.2, b = 19.344$  となった。だが、見るからに a と b が逆であるので以降はそのように読み取る。そして、この値からヤング率を求めたところ  $E = 6.29 \times 10^{10}$  となった。

### ii 試料 2 ステンレス

IV.ii に測定結果をまとめた。表 3 に a,b,l,d,r の測定値を表 4 におもりの数に対するスケール S の値およびそれに関わる数値を計算してまとめた。

ヤング率 E はテキストより  $E = \frac{g \cdot l^3 d}{2 a^3 b r S - S_0} \cdot m$  (1) に測定値を代入して計算し表 4 にまとめた。

表 4 の値を用いて、横軸に試料棒に掛けた負荷  $m/g$  をとり、縦軸にスケールの目盛  $S/mm$  をとって図 1 に赤のボールペンでグラフをプロットした。

グラフに近似直線を引いて求めた傾きを(1)に代入してヤング率を求めたところ、

$$E = \frac{9.80665 \times 10^3}{2} \frac{399.9^3 \times 930.1}{3.957^3 \times 20.018 \times 35.3} \frac{(55.9 - 12.4) \div 100 \times (230 - 130)}{(140 - 10) \div 160 \times (1500 - 0)} = 1.87 \times 10^{11} \text{ となった。}$$

また、テキスト p.p.27~p.p.28 を参照しながら最小二乗法によって、このグラフの 1 次式( $y=ax+b$ )の近似直線の方程式を求めたところ、 $a = 28.12, b = -3913.19$  となった。そして、この値からヤング率を求めたところ  $E = 1.87 \times 10^{11}$  となった。

### iii 試料 3 鉄

IV.iii に測定結果をまとめた。表 5 に  $a, b, l, d, r$  の測定値を表 6 におもりの数に対するスケール  $S$  の値およびそれに関わる数値を計算してまとめた。

ヤング率  $E$  はテキストより  $E = \frac{g}{2} \frac{l^3 d}{a^3 b r S - S_0} \frac{m}{S - S_0}$  (1)計測した値を代入して計算し表 6 にまとめた。

表 2 の値を用いて、横軸に試料棒に掛けた負荷  $m/g$  をとり、縦軸にスケールの目盛  $S/mm$  をとって図 1 に緑のボールペンでグラフをプロットした。

グラフに近似直線を引いて求めた傾きを(1)に代入してヤング率を求めたところ、

$$E = \frac{9.80665 \times 10^3}{2} \frac{399.9^3 \times 929.9}{4.415^3 \times 18.844 \times 35.3} \frac{(46.0 - 15.0) \div 100 \times (230 - 130)}{(140 - 10) \div 160 \times (1500 - 0)} = 2.00 \times 10^{11} \text{ となった。}$$

また、テキスト p.p.27~p.p.28 を参照しながら最小二乗法によって、このグラフの 1 次式( $y=ax+b$ )の近似直線の方程式を求めたところ、 $a = 39.69, b = -5667.5$  となった。そして、この値からヤング率を求めたところ  $E = 2.02 \times 10^{11}$  となった。

ついでに、手元の理科年表を参照したところ、鉄(鋼)のヤング率は  $20.1 \sim 21.6 \times 10^{10}$  とあった。範囲の中に実験値が収まっているので実験は成功していると考えた。

## VI 参考文献

- 『理科年表 昭和 59 年』 p.440  
昭和 58 年 11 月 30 日発行  
編纂者：東京天文台  
発行所：丸善株式会社

## VII 感想

数ある物理実験の中で最も簡単な実験の一つだった。のんびりやっていたので終わったときには 4 時限目が終了する時間になっていたが、結果の整理などにもほとんど手間がかからず一気にレポートを書き終えることができた。カーボンファイバー強化プラスチックとステンレスに関しては手元の理科年表にヤング率の文献値を見つけれなかった。図書館にて新しい版の物を探して調べてみようとは思っているが、実験がうまくいったか判別ができなかったのは若干悔しい。とはいえ、各種測定値は正しくとったと思っているので実験自体はうまくいっていると信じている。

まさかデータを持ってくるのを忘れるとは、完成してから何週間も経つと油断してしまう。