

材 料 試 驗

河 本 実 著



材 料 試 験

河 本 実 著

朝 倉 書 店

材料試験

昭和40年 5月25日 初版発行
昭和52年 3月10日 18版発行

著者承認
検印省略

著者 河 本 実

発行者 朝 倉 鉦 造

東京都新宿区新小川町2ノ10

印刷者 木 村 正 義

東京都荒川区東尾久4の38の5

発 行 所

株式
会社 朝 倉 書 店

東京都新宿区新小川町2の10

郵便番号 162

電話東京(260)0141(代表)

振替口座東京 6-8673番

自然科学書協会会員

© 1965

削文印刷・渡辺製本

無断転載・複写を禁ず

3053-230101-0032

は し が き

機械を設計する場合、まず必要となるのは材料の強度その他の性質である。材料試験は材料の強度その他の性質を試験を行なうことにより求めるもので、その結果をえて始めて材料の有効適切なる使用が可能となる。したがって、材料試験は機械工学のうち最も基礎的な重要な学科の一つである。材料に生ずる応力や変形などを求める学問として材料力学があるが、その結果はその材料がどれほどの応力や変形にまで耐えうかを求める材料試験の結果をえて始めて実際に役立つこととなる。この意味で材料試験は広い意味での材料力学の一分野ともみなされるもので、すべての機械設計者・機械技術者の必須部門である。

材料試験はもとより手段・方法であって、目的ではない。目的は材料の強度その他の機械的性質を明らかにすることにある。手段としての材料試験は測定法の一つに相異なるであろう。したがって、材料試験を測定法の一部門として入れられている場合も見うけられる。しかし材料試験は長さの測定や質量の測定などの他の測定法とその性格がいちじるしく異なり、求める対象とするものは材料強度というまことに複雑なる材料の機械工学的性質である。したがって、工学としての材料試験はその試験方法のもつ意義・原理ならびにえられた結果のもつ内容の十分なる把握に重点がおかれるべきである。本書もこの趣旨に沿い、既往の材料試験機の使用説明などは極力これを避け、材料試験の方法・原理およびその試験法や試験結果のもつ意義を述べることに重点をおいた。

日進月歩の工学の進展にともない、材料はますます苛酷なる状態で使用されることが多くなり、それに即応し、材料試験もなるべく実際に即した複雑なるものが必要となってきている。本書はそれらの分野をも含め、材料試験の全般を簡潔かつ平易に把握しうよう記述したので、大学・専門学校などにおいて

2

は し が き

始めて材料試験を学ぶ人にとってよき教科書・参考書となるものと信ずる。

昭和 40 年 5 月

著 者

目 次

緒 論	1
第1章 引張試験	3
§1. 引張試験機	3
1.1 荷重負荷装置	3
1.2 荷重測定装置	4
a. 水平移動重錘 (4) b. 振子式重錘 (6) c. 弾性動力計 (7)	
d. 静止重錘 (7)	
1.3 縦型, 横型, 万能型について	8
§2. 引張試験片	9
§3. 試験片つかみ装置	11
§4. 引張試験における応力とひずみ	13
4.1 応力-ひずみ図	13
a. 鉄鋼材料 (13) b. 非鉄金属および鋳鉄 (15) c. 弾性ヒステリシス (16)	
4.2 真の応力-ひずみ図	17
4.3 真の応力-真のひずみ図	18
4.4 降伏機構	19
§5. 局部断面収縮, 伸び, 絞り	21
5.1 局部断面収縮	21
5.2 伸 び	23
5.3 絞 り	25
§6. 精密伸び測定	26
§7. 科学的引張試験	29
§8. 切欠きを有する場合の静的強度	31
8.1 引張強さ, 真破断力および絞りに対する切欠効果	31
a. 炭素鋼 (31) b. 鋳鉄 (33)	

8.2 静切欠係数	34
8.3 切欠きを有する場合の上下降伏点	35
§9. 断面の形、大きさおよび引張速度の影響	36
9.1 断面の形および大きさの影響	36
9.2 引張速度の影響	37
第2章 圧縮試験	38
§1. 圧縮試験方法	38
§2. 圧縮ひずみ	39
§3. 圧縮強さ	40
第3章 曲げ試験	43
§1. 曲げ試験方法	43
§2. 曲げ強さ	44
§3. 曲げ試験における相似法則	47
第4章 ねじり試験	48
§1. ねじり試験方法	48
§2. ねじり強さ	49
第5章 せん断試験	54
§1. 棒のせん断試験	54
§2. 板の押抜き試験	56
第6章 衝撃試験	57
§1. 衝撃試験の意義	57
§2. 曲げ衝撃	57
2.1 シャルビー	57
2.2 アイゾット	58
2.3 ギエリー	59

2.4 シュナット	60
2.5 相似法則	61
2.6 破壊過程	62
§3. 引張衝撃	63
§4. ねじり衝撃	65
第7章 工業的試験	66
§1. 引張試験	66
§2. 曲げ試験および抗折試験	67
§3. 鋼線のねじり試験および繰返曲げ試験	67
§4. エリクセン試験およびコンカルカップ試験	68
§5. 落重試験および落下試験	68
第8章 かたさ試験	70
§1. かたさ試験の意義	70
§2. 静荷重式	72
2.1 分 類	72
2.2 プリネル	72
2.3 マイヤー	76
2.4 ビッカース	78
2.5 ヌープ	80
2.6 ロックウェル	81
2.7 モノトロンおよびマルテンス	83
2.8 松 村	84
§3. 衝撃荷重式	86
3.1 衝撃エネルギーとくぼみ	86
3.2 ショア	87
3.3 振り子衝撃型	89
3.4 ばね衝撃型	89
§4. 引つかき式	89

§ 5. 振り子式	90
§ 6. 各種かたさ試験機によるかたさ値の換算	91
第9章 摩耗試験	93
§ 1. すべり摩耗	93
1.1 摩耗試験機	93
1.2 摩耗量および摩擦係数	96
§ 2. ころがり摩耗	99
2.1 摩耗試験機	99
2.2 まだら摩耗	100
第10章 疲労試験	103
§ 1. 疲労試験機	103
1.1 分 類	103
1.2 引張圧縮疲労試験機	104
1.3 回転曲げ疲労試験機	107
1.4 平面曲げ疲労試験機	111
1.5 ねじり疲労試験機	113
1.6 組合せ応力疲労試験機	115
1.7 プログラム疲労試験機	116
1.8 衝撃疲労試験機	117
§ 2. S-N 線図, 疲労強度	118
§ 3. 耐久限度の迅速測定法	120
§ 4. 耐久限度線図	121
§ 5. 疲労破面と疲労き裂	123
5.1 疲労破面	123
5.2 疲労き裂	126
§ 6. 繰返し速度および運転休止の影響	127
§ 7. 疲労による材質の変化	128
§ 8. 切欠効果	130

§ 9. 表面仕上げおよび表面処理の影響	132
§ 10. 寸法効果	134
§ 11. 腐食疲労	135
§ 12. 組合せ応力による疲労	136
§ 13. 疲労被害	138
13.1 耐久限度に及ぼす疲労被害	139
13.2 疲労寿命に及ぼす疲労被害	140
§ 14. プログラム荷重による疲労	141
§ 15. 低サイクル疲労	144
 第 11 章 高温および低温における試験	146
§ 1. 引張試験	146
§ 2. 衝撃試験	147
§ 3. かたさ試験	149
§ 4. クリープ試験	150
§ 5. 疲労試験	154
§ 6. 熱疲労試験および熱衝撃試験	155
 第 12 章 非破壊試験	158
§ 1. 放射線透過試験	158
§ 2. 超音波探傷試験	159
2.1 透過法	159
2.2 パルス反射法	159
§ 3. 磁気粉末検査	160
§ 4. 浸透探傷試験	161
4.1 赤色浸透液	161
4.2 螢光浸透液	161
 第 13 章 材料試験規格	163

§ 1.	金属材料引張試験片	163
§ 2.	金属材料引張試験方法	168
§ 3.	シャルピー衝撃試験機	174
§ 4.	アイゾット衝撃試験機	176
§ 5.	金属材料衝撃試験片	177
§ 6.	金属材料衝撃試験方法	179
§ 7.	ブリネルかたさ試験機	181
§ 8.	ブリネルかたさ試験方法	184
§ 9.	ショアかたさ試験機	186
§ 10.	ショアかたさ試験方法	189
§ 11.	疲れ試験用語	191
索 引		195

工業材料はつぎの3種に大別される。

- (i) 金属材料 鉄，鋼，非鉄金属など
- (ii) 非金属無機材料 セメント，コンクリート，ガラスなど
- (iii) 有機材料 木材，紙，ゴム，合成樹脂など

本書においては主として金属材料を対象とした材料試験について述べるが，ほかの材料に対する試験にも多くの場合適用される。

機械または構造物の設計において，まず必要となるのは使用する材料の強度その他の性質である。機械を構成する要素の強度が不足するときは破壊の原因となり，また強きに失するときは唯に材料の浪費であるのみならず，その機械の性能をいちじるしく低下せしめる原因となる。近來の高性能の諸機械は材料の強度を極度に利用することを必要とし，それに適合した種々の複雑かつ困難な材料試験が要求せられるようになってきている。

材料強度を求める学問的な研究方法には二つの行き方がある。その一つは，材料強度をその材料を構成している原子の立場から物性論的に研究するもので，これはいわゆる物性物理学に属するものであり，その成果は材料強度に関する性質の傾向的な説明の考え方として役立つことはあっても，強度の絶対値を求めることはたとえば単結晶のようなもっとも簡単な場合に対してさえも困難である。まして実際の工業材料はたとえ同じ化学成分をもっている，その状態が異なればその強度はいちじるしく異なる。たとえば，金属材料においては熱処理のいかん，圧延などの加工を受けているかどうか，またその加工の程度ならびに方法，あるいは含まれている少量の不純物の量，およびその分布状態などにより，強度はいちじるしく相異し，それを純理論的に求めることはほとんど不可能である。材料強度を求めるもう一つの行き方は，工業材料について実際に材料試験を行なうことによって，材料強度に関する普遍的な性質を現

象論的に求め、それより材料強度の本質を追究するものであって、その結果はまた実際に機械の設計に実用的にも直結するものである。本書においては後者の立場に立つ種々の材料試験について述べる。

材料の機械的性質の主なものとして、ふつうつぎのようなものがある。

- (i) 強さ (strength) これは材料の破壊に対する抵抗である。変形に対する抵抗をも含めることもある。たとえば、引張強さ、降伏点、耐力、耐久限度などはこれを表らわすものである。
- (ii) 延性 (ductility) これは常温において材料を引張ったり、曲げたりしても破壊することなく、大きな変形のできる性質をいう。延性の大きな材料を延性材料 (ductile materials) という。たとえば引張試験における伸び、絞りなどはこれを表らわす一つの尺度とも考えられる。
- (iii) 靱性 (toughness) これは衝撃的な荷重が作用したとき破壊することなく、それを受け入れられる性質をいう。静的な荷重の下に延性の大きな材料でも衝撃荷重に弱いものもある。衝撃に弱い性質を脆性 (brittleness) という。すなわち靱性の逆が脆性であり、衝撃に弱い材料を脆性材料 (brittle materials) という。たとえばシャルピー衝撃値はこれを表らわす一つの尺度と考えられる。
- (iv) 硬さ (hardness) これは材料の面にほかの物体を押しつけたり、衝撃させたり、引っ掻いたりしたとき、その物体が材料の内部に喰い込み材料にくぼみを残さしめない性質をいう。たとえば種々のかたさ値はこれを表らわすものである。

ふつう材料の機械的性質を表らわす場合、上記の四つ、すなわちたとえば引張強さ、伸び、衝撃値、硬さなどが基本的な量として示され、必要に応じてさらに詳細な材料試験の結果が用いられる。

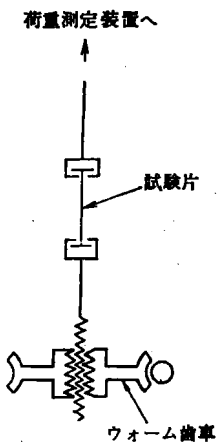
第1章 引張試験

§1. 引張試験機

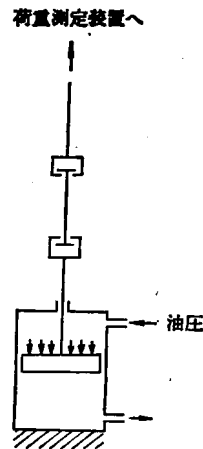
1.1 荷重負荷装置

材料試験機は一般に試験片の一端につながる荷重負荷装置と試験片の他端につながる荷重測定装置とよりなっている。

荷重負荷装置はモータなどによる小さい駆動力を拡大して試験片に加える作用をなすもので、その拡大方法としてはたとえば第1.1図に示すごとくウォーム歯車を利用するなど機械的に行なうものと、第1.2図に示すごとく油圧を利

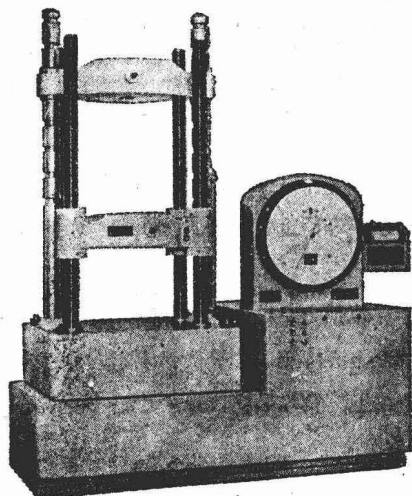


第1.1図 機械的負荷

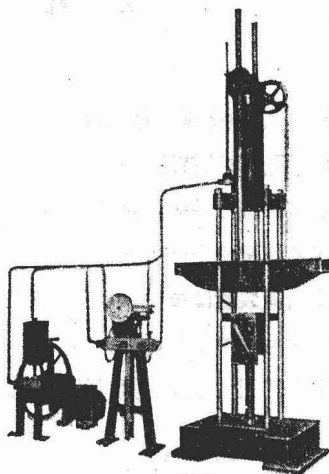


第1.2図 油圧による負荷

用するものがある。油圧を利用する場合は荷重の拡大が簡単で、その点有利であり近来多く用いられる。しかし荷重を一定に保つ必要がある場合などは油圧弁における避けられない漏れを補うよう特別の方法をこうじなければならぬ。第1.3図は機械的な拡大負荷装置をもった試験機の外観の一例で、第1.4図は油圧を利用した場合の外観の一例である。



第1.3図 機械式万能試験機



第1.4図 油圧式万能試験機

1.2 荷重測定装置

a. 水平移動重錘 試験機は一種のはかりであるから、荷重測定装置の部分が重要であり、その精度の大なることが肝要である。第1.5図に水平移動重錘による荷重測定装置の原理を示した。 P が測定されるべき荷重で、 W が移動重錘、 W_0 がつりあい重錘である。 l_0 , l_1 , l_2 , および x をそれぞれ図に示した長さとし、 $x=0$ のとき $P=0$ となるよう W_0 を定める。しかれば

$$l_0 W = (l_1 + l_2) W_0$$

$$(l_0 + x) W = l_1 P + (l_1 + l_2) W_0$$

$$\therefore Pl_1 = Wx \quad P = \frac{x}{l_1} W$$

すなわち測定されるべき荷重 P は x に比例する。したがって重錘棒に刻まれる目盛は支点より l_0 の距離のところを0とした等分目盛となる。

測定されるべき荷重 P はふつう非常に大きいから移動重錘も大きくしなければならないことになるが、 W をなるべく小さくする一つの手段として l_1 を小さくとることが望ましい。第1.5図の構造では l_1 はあまり小さくとれない

ので、ふつう第1.6図に示す構造にする。この場合リンク AB および CD に加わる荷重をそれぞれ P' および P'' とし、各部分の長さを図に示すとき記号で表わせば

$$P' = \frac{b'}{a' + b'} P,$$

$$P'' = \frac{a'}{a' + b'} P$$

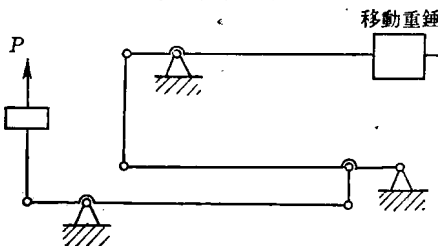
したがって荷重 P が重錘棒に及ぼすモーメントを M とすれば

$$M = P'b - P''a$$

$$= \frac{bb' - aa'}{a' + b'} P = (b - a') P$$

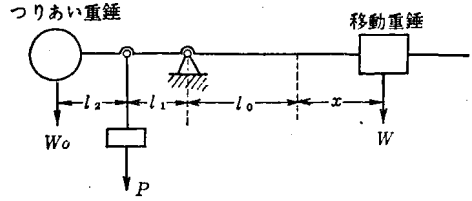
第1.6図の構造では b と a' との差を小さくとることができるから、重錘棒に加わるモーメントが小さくなり、したがって重錘 W を小さくすることができる。

しかし b と a' との差をあまり極端に小さくとると、 b あるいは a' の長さの少しの誤差も測定結果に大きな影響を及ぼすこととなり望ましくない。したがってたとえば第1.7図に示すごとく2段のレバー比をもって荷重を落して重錘棒に加えるような方法が実際には用いられる。

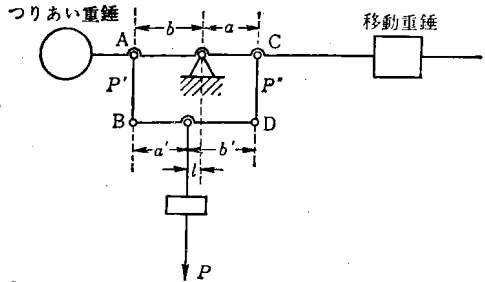


第1.7図 2段レバー比

測定などの場合と異なり測定精度の向上には好都合である。なお移動重錘は古くは重錘棒と平行に配置されたねじ棒を手動にて回すことによりつりあいの位置



第1.5図 水平移動重錘による荷重測定

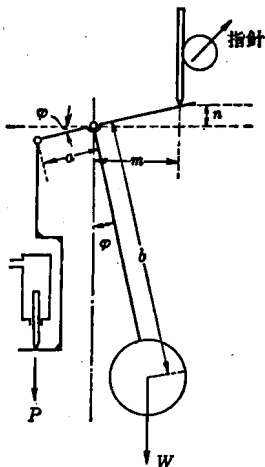


第1.6図 荷重点を支点に近づけた場合

水平移動重錘による測定方法は測定時には重錘棒が常に水平の位置を保っている。このように測定部が常に同じ姿勢の下に測定されることは次項以下に述べる振子による測定

に来さしめたのであるが、近來は重錘棒の先端に取付けられた開閉器により電動にて速かにつりあいの位置に来さしめ、かつその位置は目盛円盤上に指示される。

b. 振子式重錘 これは重錘をとりつけた振り子のふり上りによって生ずるモーメントと測定荷重とをつりあわせ、その荷重の大きさを測定するものである。この場合は前項における場合のように重錘をなんらかのほかの力で動かしてやる必要がない。振子は自動的につりあいの位置にくる点が好都合であるので、試験機の荷重測定法としてはもっとも多く用いられる。



第1.8図 振子重錘による荷重測定

第1.8図に振子式重錘による荷重測定の原理を示した。 P を測定されるべき荷重、 W を重錘の重さ、 φ を振子の振れ角度とし、各部の長さを図中に示したとき記号で表わせば

$$Pa \cos \varphi = Wb \sin \varphi$$

$$\therefore P = \frac{b}{a} W \tan \varphi = \frac{b}{a} \frac{W}{m} n$$

a, b, W および m は振れ角度に無関係に一定であるから、 P は n に比例する。したがって n の大きさを目盛円盤上に指示せしめればよい。円盤上の指針は直線距離 n に比例して回転せしめるべきであって、角度 φ に比例せしめてはならない。 n に比例せしめることにより振れ角度 φ がいくら大きくなっても、そのため指針の指

す値が近似的となるようなことは起こらないのである。

測定されるべき荷重 P はたとえば第1.8図では棒ピストンに作用する油圧であり、この場合棒ピストンの直径を小さくすることにより P を小さくできる。したがってそのとき振子も小さくなりそれらすべてを試験機外枠内の一部に包蔵せしめることができる。しかし一般に荷重測定装置において、測定重錘から試験片に加わる荷重までの荷重拡大率をあまり大きくすると、誤差も同様拡大されることになるから、信頼性の悪くならないよう精度に十分注意することが