

NO.1

保全のための材料力学

監修・執筆／職業能力開発総合大学校 精密機械システム工学科 教授 塩田 泰仁



コガク



目次

1. 設備・機械メンテナンス実務講座の考え方	i
2. 材料と機械故障コースのねらい	ii
3. 本書で使用する単位について	iii
 第1分冊 学習のねらい	1
 第1週 材料の機械的性質	
第1週の学習のポイント	3
1.1 破損の形態	4
1.1.1 破損の分類	4
第1週 練習問題	19
 第2週 破面の観察	
第2週の学習のポイント	21
2.1 破面の観察	22
2.1.1 破面の観察の基礎	22
2.1.2 破面の採取と保存方法	32
第2週 練習問題	34
 第3週 破損を支配する諸因子	
第3週の学習のポイント	35
3.1 部品形状の影響	36
3.1.1 切欠効果	36
3.1.2 寸法効果	42
3.1.3 表面効果	43
3.2 材料の影響	43
第3週 練習問題	46
 第4週 損傷の事例	
第4週の学習のポイント	47
4.1 損傷の事例	48
4.1.1 初期損傷	48

4.1.2 摩 耗	50
4.1.3 腐 食	55
第4週 練習問題	59
STEP UP	60
参考文献	61
練習問題の解答	63
索 引	66



材料の機械的性質

学習のポイント

設備・機械に使用される材料には、熱伝導率、線膨張係数、融点などによって代表される物理・化学的性質があるが、そのうち力に関係する性質のうち、主に材料の変形と破壊に対する抵抗を材料の**機械的性質** (mechanical properties of materials) という。

材料の機械的性質は単に材質によって決まるものではなく、形状はもちろんのこと荷重の種類と大きさ、さらには温度や雰囲気などの環境によって大きく異なる。これら諸要因は、結果として材料の破損や損傷に大きな影響を及ぼす。

そこで、第1週では、損傷の最終形態である破損に注目して、破壊を5つのパターンに分類し、これらの機械的性質について詳しくみていくことにする。そうすることにより、たとえば「ボルトが折れた」という事例一つとっても、どのような荷重が作用して折れたのかということが、大まかに把握できる。

.....

1.1



破損の形態

1.1.1 破損の分類

われわれが日常生活においてよく使う「コップが割れた」「椅子が壊れた」「紙が破れた」「針金が切れた」などという言葉は、工学的には「——が破損した」という一言でいい表すことができる。破損 (failure) は損傷の一形態であって、荷重 (機械的因子) による損傷を特に破損と呼んでいる。ただし、損傷は破損だけで生じるのではなく環境 (化学的因子) によっても生じる。

図 1.1 は設備・機械に生じる損傷の形態を大きく分類したもので、

- a. 荷重によって生じる破損
- b. 環境によって生じる腐食
- c. 荷重と環境とが作用し合って生じる複合破壊

の3つに分類されることがわかる。

腐食と複合破壊についてはあとの週で詳しく検討することにして、ここでは設備・機械のトラブルに大きな影響を及ぼすと考えられる破損について学習する。

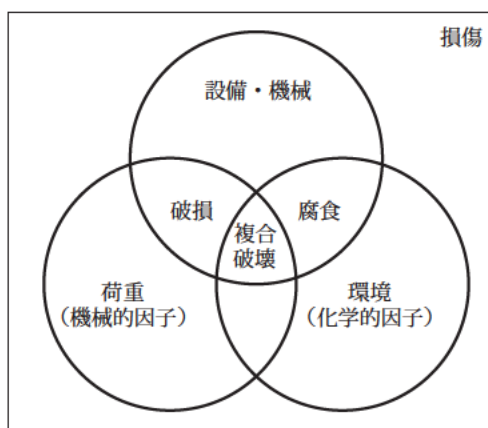


図1.1 設備・機械に発生する損傷の分類

破損は設備・機械に生じた最終的損傷であり、その原因をさかのぼると、部品に生じた焼割れであったり、目に見えないピンホールであったりする。このような欠陥は初期損傷と呼ばれていて、加工工程別に分類すると表 1.1 のようになる。初期損傷は加工前の素材組織中に偏析や介在物となってすでに存在している場合が多く、加工工程を経ることによってその数はさらに増加する。初期損傷の検出方法については第 2 分冊で述べるが、いずれにしても部品には初期損傷が無数に存在していると思っておいて間違いはなさそうである。

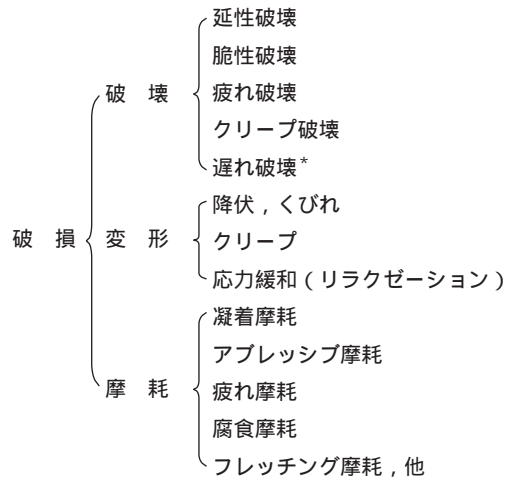
表 1.1 加工別にみた初期損傷

工 程	欠 陥
鑄 造	ピンホール、ブローホール、砂かみ、のろかみ、引け巣、熱間亀裂、冷間亀裂、すくわれ、絞られ、焼付き、差し込み
鍛 造	砂傷、砂かみ、偏析傷、白点、ミクロポロシティ
圧 延	線状傷、へげ、割れ、砂かみ、折込み、しわ傷、はだ荒れ、カリバ傷、削れおよび虫食い、かき傷、焼き傷、地傷、パイプ、気泡、多孔質およびビット、もめ割れ、ラミネーション、2枚割れ、毛割れ、過熱
溶 接	割れ、孔、介在物、融合不良および溶込み不良、形状欠陥
熱 処 理	焼割れ、結晶粒の粗大化、脱炭、浸炭
切削加工	研磨割れ
塑性加工	しぼり傷、しわ傷
素 材	偏析、介在物、不良組織など
そ の 他	打こん、圧こん

初期損傷が時間の経過とともに増加あるいは拡大した場合、破損は避けられない。破損は大きく分けて破壊、変形および摩耗の3つの形態に分類でき、それらをさらに細かく分けると表 1.2 のようになる。

続いて、破損、特に破壊についてさらに詳しくみていくことにする。

表1.2 破損の分類



* 遅れ破壊は高応力と周辺環境の両方が影響し合った破壊であるため、一般には複合破壊に含まれる。

(1) 延性破壊

銅やアルミニウム, 銅のような伸びの大きい材料を延性材料 (ductile material) という。一様な断面積をもつ延性材料の引張試験 (tension test) を行って加えた荷重と試料の伸びを同時に測定すると, 荷重-伸び線図が得られる。荷重-伸び線図は通常, 応力 (stress) とひずみ (strain) との関係に直されて表示されるので, このように修正された線図を応力-ひずみ線図 (stress-strain diagram) という。図 1.2 は, 銅の応力-ひずみ線図であり, 縦軸は応力 σ [MPa], 横軸はひずみ ϵ [無次元量] を表している。

なお, 図の見方は, 応力をどんどん上げていくと材料がひずんでくると考えればよい。

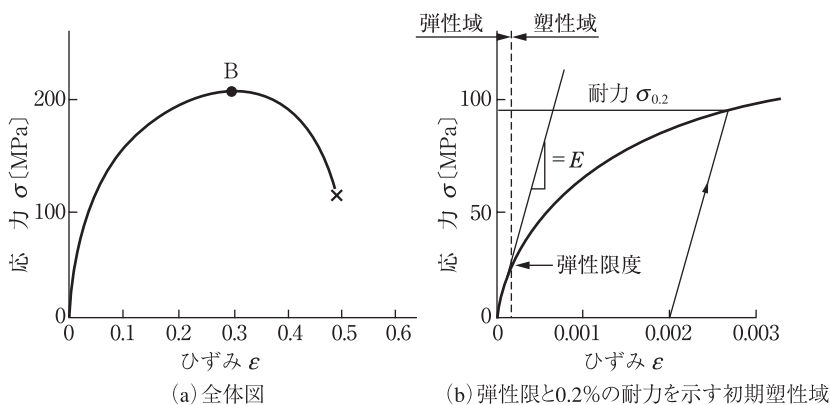


図1.2 銅の応力-ひずみ線図

ここで応力 σ [MPa] は, 試料に加わる荷重 W を試料のもとの断面積 A_0 で割ったもので,

$$\sigma = \frac{W}{A_0} \quad (1.1)$$

で表される。ひずみ ε [無次元量] は, 試料の伸び λ [mm] を, もとの長さ l [mm] で割ったもので,

$$\varepsilon = \frac{\lambda}{l} \quad (1.2)$$

で表される。応力-ひずみ線図を用いれば, 異なる材料どうしであっても試料の寸法形状に無関係に結果を比較することができる。

図 1.2(b) は図(a)の拡大図で, 引張り始めは応力とひずみの関係が比例していることがわかる。この関係はフックの法則 (Hooke's law) とよばれていて,

$$\sigma = E\varepsilon \quad (1.3)$$

で表され, 比例定数 E [kgf/mm²] は縦弾性係数(ヤング率)とよばれ, 機械的性質のうちで最も重要な数値である。表 1.3 に, 代表的な工業材料の E を掲げておく。

なお, 1kgf/mm² は 9.8MPa である。

表 1.3 工業材料の縦弾性係数 E

延性材料の E [kgf/mm ²]		脆性材料の E [kgf/mm ²]	
軟 銅	2.1×10^4	コンクリート	0.20×10^4
硬 銅	2.1×10^4	ねずみ鉄	0.85×10^4
鋳 銅	2.15×10^4	ガラス	0.72×10^4
黄 銅	0.98×10^4	セラミックス(Al_2O_3)	3.8×10^4
アルミニウム	0.72×10^4	(SiC)	4.8×10^4
金	0.18×10^4	(WC-Co)	$5.5 \sim 6.5 \times 10^4$

式(1.3)が成り立つ領域を弾性(elasticity)とよび, この領域で荷重を除くと試料はもとの長さに戻る。荷重が十分大きくなって式(1.3)が成り立たない, いいかえれば試料がもとの長さに戻らぬ変形を生ずる領域を塑性(plasticity)とよぶ。弾性から塑性へ移るとき, 材料は弾性限度(elastic limit)を超えたという(図 1.2(b) 参照)。

このあとさらに試料を引張ると材料は加工硬化(work-hardening)し, 応力-ひずみ線図はわん曲して引張強さ(tensile strength, 図 1.2(a) の点 B)に達する。点 B を過ぎると試料は図 1.3 に示すようなくびれ(necking)を生じて局部的に断面積が小さくなり, それ以後の変形はここに集中し, やがてくびれの位置で試料は破断する。このような経