

## 執筆 者 一 覧

日本大学 理工学部 機械工学科

飯島晃良	武居昌宏 (現・千葉大学)
上田政人	富岡 昇
岡野道治	富永 茂
岡部顕史	星野倫彦
小野清秋	堀内伸一郎
加藤保之	松本 彰
木村元昭	三浦浩一
河府賢治	山田高三
鈴木康方	吉田幸司
関根太郎	李 和樹
関谷直樹	渡辺 亨

(50音順)

# はじめに

機械工学はものづくりを目指した最も基本的な学科であることはよく知られている。したがって機械工学科は工学部や理工学部を持つ大学では必ずといってよいほど設置されている学科である。また機械工学科は最も基本的な学科であるがために、この学科で教育される内容は多岐にわたらざるを得ず、それだけ学生には多くの負担が掛かっていることも事実であろう。これは機械工学科が機械工学科である以上はある程度避けられないことだと思う。

機械工学科で行われる教育の内容を整理して見てみると次の五つの分野に分けて考えることができるだろう。

- ・材料力学分野
- ・機械力学分野
- ・流体力学分野
- ・熱工学分野
- ・加工分野

最近ではコンピュータやネットワーク等が充実してきていることからメカトロニクスや人工知能等の新しい技術分野が加わってきてはいるが、機械工学を構成する基本は上述した五つの分野で十分にカバーできるものと考えてもよいと思う。

ところで4年間機械工学科に在籍した学生は、少なくともどの程度の知識を身に付けなければならないのだろうか。上述した各分野にはその中でさまざまな基礎的な約束ごとがあり、それを応用した技術があふれている。これらを並べてみると膨大なものとなるばかりか、整理することも難しいかもしれない。したがって、在学中にこれらすべてについて深い知識を得ようとする、少々

無理があると考えるのは私だけではないだろう。このようなことより本学科（日本大学理工学部機械工学科）では機械工学科を卒業するために十分な知識はどのレベルであるのかについて議論した。その結果上述した五つの分野に、これらを総合した領域である「設計分野」を加えた六つの分野で、最も基本となるキーワードを整理・選定し、これらについて基本的な説明を行えば、これから社会に出て行こうとする学生が最少限の知識を得るのに役に立つのではないかという結論に達した。これが本書を編集した理由である。

本学科には上述した5分野を専門とするそれぞれ複数の教員がおり、またすべての分野の教員は最後に付け加えた設計分野に係わる教育を行っている。そこで各分野ごとにそれぞれ20のキーワードを選定し、これらについて基本的な説明をしようということになった。

以上のような経緯を経て本書を編集したので、ここには(20ワード)×(6分野)である120のキーワードを載せている。これらで十分であるかどうかについては読者の意見も聞かなければならないところであるが、機械工学の基礎を説明し、これを理解するには十分な量であると考えている。

学生諸君がこのテキストに載っているキーワードを自らの知識として理解し、この知識を有効に活用してくれることを願っている。

2012年1月

編集委員長  
日本大学理工学部機械工学科  
李 和樹

# 目 次

## 材料力学分野

内力と外力 .....	2
応力とひずみ .....	4
応力-ひずみ線図 .....	6
剛性と強度 .....	8
ポアソン効果 .....	10
熱 応 力 .....	12
断面一次モーメント, 断面二次モーメント .....	14
中 立 軸 .....	16
SFD と BMD .....	18
重ね合せの原理 .....	20
たわみの基礎方程式 .....	22
静定・不静定 .....	24
主応力・主ひずみとモーアの円 .....	26
相当曲げモーメントと相当ねじりモーメント .....	28
ひずみエネルギー .....	30
柱 の 座 屈 .....	32
サンブナンの原理 .....	34
応 力 集 中 .....	36
疲 勞 .....	38
ク リ ー プ .....	40

## 機械力学分野

質点と剛体 .....	42
座 標 系 .....	44
静力学と動力学 .....	46
力とモーメント .....	48
運動の3法則 .....	50

運 動 量	52
力 積	54
弾性衝突, 反発係数	56
固有振動数と固有周期	58
摩擦力 (動摩擦と静摩擦)	60
重 心	62
エネルギー保存系	64
力学的エネルギー	66
平行軸の定理・直交軸の定理	68
仕事と仕事率	70
質量と慣性モーメント	72
減 衰 比	74
自由振動と強制振動	76
周波数応答と位相差	78
共 振 現 象	80

## 流体力学分野

密度と粘度	82
ひずみ速度 (流体の変形)	84
粘 性	86
圧 縮 性	88
相 似 則	90
絶対圧力とゲージ圧力	92
パスカルの原理	94
浮力と揚力	96
抗 力	98
渦	100
流線・流跡線・流脈線・流管	102
質量保存則 (連続の式)	104
ベルヌーイの定理	106
ピトー管とベンチュリ管	108
運動量方程式と角運動量方程式	110
運動方程式 (ナビエ・ストークス方程式)	112
層流と乱流	114
せん断流 (層流)	116
境 界 層	118
はく離と後流	120

## 熱工学分野

状態量	122
熱力学第一法則	124
熱力学第二法則	126
エンタルピーとエントロピー	128
等容・等圧比熱と比熱比	130
絶対仕事と工業仕事	132
可逆変化と非可逆変化	134
カルノーサイクル	136
理想気体の状態方程式	138
等圧変化と等容変化	140
等温変化と断熱変化	142
熱効率と成績係数	144
ピストンエンジンのサイクル	146
ガスタービンのサイクル	148
蒸気と蒸気線図	150
ランキンサイクルと逆ランキンサイクル	152
相対湿度と絶対湿度	154
顕熱と潜熱	156
総括反応式	158
伝熱の形態	160

## 加工分野

塑性加工	162
除去加工	164
注入成形加工	166
鍛造	168
熱処理	170
金属組織	172
焼結	174
溶接	176
きさげ	178
研磨	180
工程	182
生産システム	184

工作機械	186
ジグと取付具	188
金 型	190
硬 さ	192
精 度	194
加工硬化	196
加工精度	198
表面性状	200

## 設 計 分 野

投 影 法	202
機 械 図 面	204
機 械 設 計	206
CAD/CAM	208
計 画 図 ・ 部 品 図 ・ 組 立 図	210
表 面 粗 さ	212
幾 何 偏 差	214
寸 法 公 差 と は め あ い	216
規 格	218
歯 車	220
動 力 伝 達 機 構	222
摩 擦 と 潤 滑	224
軸 受	226
軸 と 軸 継 手	228
カ ム と リ ン ク 機 構	230
ば ね	232
締 結 要 素	234
寸 法 測 定	236
品 質 管 理	238
コ ス ト	240
あ と が き	242

# 凡 例

【見開きページ 左】

**柱の座屈**

● 富岡 昇 ●

30 cm の定規のように、断面の寸法に比べて長さが非常に長い、細長い棒が圧縮荷重を受けるとき、この棒を柱という。この定規を立てて、上から圧縮荷重を加えて押すと、はじめは肉眼では見えないが定規は弾性的に圧縮されて縮む。ところが圧縮荷重がある程度大きくなると、定規は突然横に大きく曲がりたわむ。この現象を座屈という。座屈現象は引張りには見られない圧縮特有のものである。

図 1 のように、両端を回転支持された細長い柱に圧縮荷重  $P$  を加えると、荷重  $P$  が次の値に達すると、柱は横に大きくたわみ座屈する。

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{l^2} \quad (1)$$

この荷重をオイラーの座屈荷重という。この式から、座屈荷重は曲げ剛性  $EI$  と長さ  $l$  のみによって決まり材料の強さによらないことがわかる。式 (1) の座屈荷重は両端を回転支持したときの値であり、支持方法が変わると座屈荷重の値も違ってくることに注意が必要である。




図 1 柱の座屈

キーワードの説明

キーワードの実例や応用例などの発展的内容

参考文献  
番号) 書名: 著者名,  
出版社名(発行年)とする。

キーワード

執筆者名

該当の分野を示す

【見開きページ 右】

**自動車車体構造に生じた鋸開座屈**

自動車の車体構造は、1 mm 程度の薄板をいろいろな形状に成形し、それらをスポット溶接で接合した薄板構造である。図 2 は車体構造を構成する主要部材をモデル化した箱形断面部材である。自動車が行くとき、車体には路面からタイヤを通じていろいろな荷重が伝わってくる。その結果、部材には曲げやねじり、軸力などの荷重が作用する。箱形断面部材にフランジ面内の曲げ（これを面内曲げという）が繰り返して作用すると、スポット溶接面の中央で歪みが発生した。スポット溶接部では応力集中に伴い、疲労き裂が発生することは容易に予想できたが、応力集中元であるスポット溶接部から一番遠いであろうその中間点で疲労き裂が発生することは予想できなかった。いろいろと検討した結果、これはフランジの鋸開座屈に起因することがわかった。箱形断面部材に面内曲げが作用すると、フランジは曲げ応力によって圧縮されるため、スポット溶接間では鋸開座屈を起こし、大きく外側に曲がってしまう。この曲げ変形によって、一番大きなたわみが発生するスポット溶接の中間点で大きな引張応力が発生し、その結果、そこから疲労き裂が発生したのである。

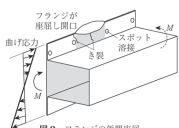


図 2 フランジの鋸開座屈

● 材料力学分野  
● 機械力学分野  
● 流体力学分野  
● 熱力学分野  
● 加工分野  
● 設計分野

【参考文献】  
1) 機械工学概説 基礎編 c03 (材料力学) : 日本機械学会編, 九章 (2006)



# 内力と外力

◎ 上田 政人 ◎

図 1(a) のように、両端に力  $F$  が作用して静止している棒を考える。棒は前者かによって引っ張られている状態であるが、このように物体が外から受ける力を「外力」と呼んでいる。

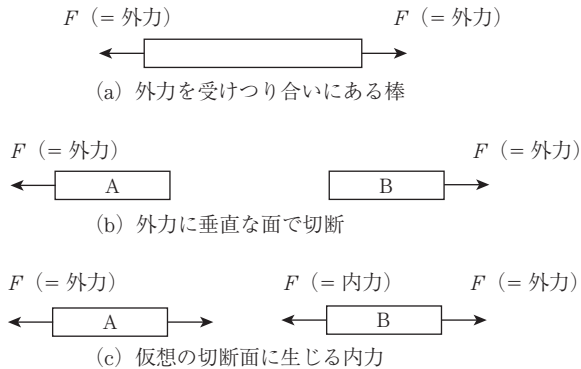


図 1 引張りを受ける棒

次に、図(b)のように、この棒を外力に垂直な面で切断してみる。切断してできた左側の部分を A、右側の部分を B と呼ぶことにする。A は左端に力  $F$  を受けているから、このままでは、左側に飛んで行く。A が元の位置に留まっているためには、図(c)のように、切断した面に力  $F$  とは反対向きに同じ大きさの力が作用していればよく、これを「内力」という。ではもう一度、切断されていない図(a)の状態に戻してみる。棒の左端に力  $F$  が作用して、A の部分が動かないでいるために、A は B に引っ張られていたと解釈することができる。以上のことは、B を基準に考えても同じことであるから、仮想の切断面には、おたがいに逆向きで同じ大きさの内力が作用していることになる。

## 材料の破壊

ある物体に外力が作用したとき、その外力が、物体の耐えうる以上の力であれば、物体は破壊します。さまざまな構造物では、想定される荷重に耐えられるように構造設計されていますが、長年に渡り、材料に繰返し荷重が作用すると、材料が耐えられる荷重以下でも破断することがあり、この破壊を疲労破壊と呼んでいます。また、構造物は十分な設計を行っていても、想定外の要因によって破壊してしまうことがあります。このような事故の原因究明には、破壊時にどの程度の内力が作用していたかを推定することが重要です。しかしながら、その特定は非常に難しい問題です。図2は、金属材料が疲労破壊した断面の写真です。このような破断面の様相から破壊原因を探ることをフラクトグラフィと呼びます。この破面模様から材料の破断時に生じていた内力（応力）の大きさがわかれば、破壊事故の原因を詳細に解明することができます。しかしながら、材料の破面模様から、破壊時に生じていた応力の大きさを推定する方法はまだ提案されておらず、これからも研究が必要な分野となっています。

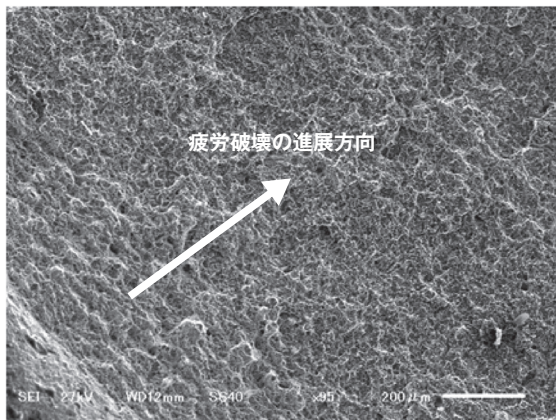


図2 疲労破壊した金属破面

# 応力とひずみ

◎ 上田 政人 ◎

図1のように、断面積が $A$ で、長さが $L$ の棒がある。この棒の両端に荷重 $F$ が作用した状態を考える。

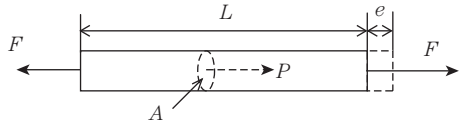


図1 引張負荷を受ける棒

## [1] 応力

この棒の任意の仮想断面に働く内力 $P$ は

$$P = F \quad (1)$$

である。この内力が作用している断面の面積 $A$ で、内力 $P$ を除したものを、応力 $\sigma$ と呼んでいる。すなわち

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (2)$$

である。なお、応力の単位は $\text{N/m}^2$ またはPaである。

したがって、応力は、単位面積当りに作用する内力を示す。

## [2] ひずみ

次に、棒の変形を考える。荷重 $F$ により、棒が $e$ だけ伸びたとする。この伸び量 $e$ を、棒の元の長さ $L$ で除したものを、ひずみ $\varepsilon$ と呼んでいる。すなわち

$$\varepsilon = \frac{e}{L} \quad (3)$$

である。なお、ひずみは単位を持たない無次元量である。

したがって、ひずみは、単位長さ当りの伸び量を示す。

材料の弾性域では、応力とひずみには、フックの法則が成立する。

$$\sigma = E\varepsilon \quad (4)$$

ここで、 $E$ は縦弾性係数またはヤング率と呼ばれる。なお、ヤング率の単位は応力と同じである。

## だまされないで材料を選ぶには・・・

材料メーカーのA社とB社があります。A社およびB社ともに、同一の材料を販売していますが、A社の材料は、荷重 $F$ まで耐えることができ、一方、B社の材料は、荷重 $2F$ まで耐えることができます。価格はどちらも同じである場合、あなたはどちらの会社から材料を購入しますか？

このように書くと、B社と答える人が多いのではないのでしょうか？ しかし、初めに書いてあるように、A社、B社ともに“同じ材料”を販売しています。では、耐えられる荷重に差があるのはなぜでしょうか？ 図2のように、B社の試験片はA社のものと比べて断面積が2倍であったために、2倍の荷重まで耐えることができたのです。この場合、材料の強さを応力で評価すれば、的確な情報が得られます。A社およびB社の試験片の破断応力をそれぞれ $\sigma_A$ 、 $\sigma_B$ とすれば

$$\sigma_A = \frac{P}{A}, \quad \sigma_B = \frac{2P}{2A} = \frac{P}{A} \quad (5)$$

となり、試験片形状に関係なく、同じ応力まで耐えられることを示します。

もう一つの例を挙げよう。同一の材料を、C社も販売しています。A社の材料は荷重 $F$ を負荷したら $e$ だけ伸び、一方、C社の材料は、 $2e$ も伸びました。このように、伸び量で表すと、A社の材料のほうが $e$ しか伸びないために強い材料であると認識するでしょう。しかし、図のように、C社の試験片はA社のものと比べて長さが2倍であったために、同じ荷重 $F$ を負荷すると、2倍伸びたのです。A社およびC社の試験片のひずみをそれぞれ $\varepsilon_A$ 、 $\varepsilon_C$ とすれば

$$\varepsilon_A = \frac{e}{L}, \quad \varepsilon_C = \frac{2e}{2L} = \frac{e}{L} \quad (6)$$

長さが違う場合でも、ひずみを用いれば同一の変形であることを示します。

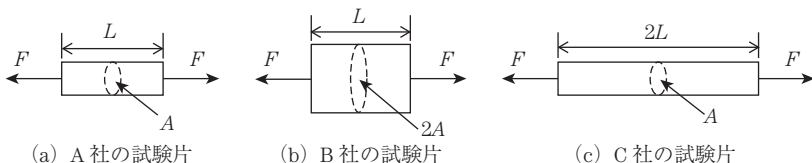


図2 各社の試験片形状

# 応力-ひずみ線図

◎ 上田 政人 ◎

軟鋼の丸棒に対して引張試験を実施し、得られた応力を縦軸に、ひずみを横軸にプロットした図を「応力-ひずみ線図」と呼び、**図 1** に示す。棒に作用する応力が増加すると、応力に比例してひずみも増加する (①→②)。この範囲内の応力であれば、除荷すれば棒の変形は元に戻る。これを弾性と呼ぶ。したがって、応力とひずみとの間には  $\sigma = E\varepsilon$  が成立し、この直線の傾き  $E$  を縦弾性係数 (またはヤング率) と呼ぶ。棒に作用する応力が降伏応力  $\sigma_y$  に達すると (②)、材料は“降伏”し、応力一定でひずみは増加する (②→③)。その後、さらに応力を増加させると、ひずみは増大していく (③→④) が、応力とひずみとの間には線形関係は成立しない。例えば、④で除荷すると、弾性域と同じ傾き  $E$  でひずみも減少するが、応力が 0 になってもひずみは 0 に戻らない (⑤)。これを塑性と呼び、材料に残るひずみを永久ひずみと呼ぶ。⑤から再び負荷すると、⑤→④→⑥に沿って進行する。⑥に到達すると、応力の増加なしにひずみは増大して破断に至る (⑦)。⑥の応力を引張強さ  $\sigma_B$  と呼ぶ。

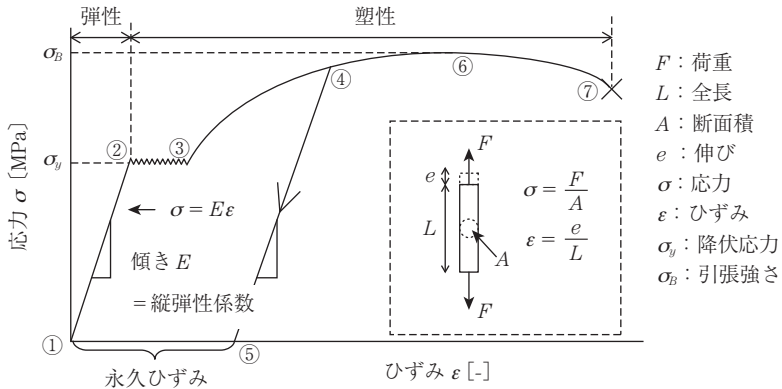


図 1 軟鋼の応力-ひずみ線図

## 材料の経歴(履歴)

同一材料であれば、同じ応力-ひずみ線図が得られるはずですが、しかしながら、材料をさまざまな部品に加工する過程で大きな負荷が加わり、局所的または全体として塑性変形を生じる場合があります。例えば、図2(a)がある部品の材料の本来の応力-ひずみ線図であっても、加工時には降伏点を超える応力が加わるため、見かけの応力-ひずみ線図は図(b)のようになります。局所的に高い負荷が加わると、内部で残留ひずみが生じる原因にもなり、予期しない破壊につながることもあります。このような場合には、材料加工後に熱処理を施すことによって、材料特性を元の状態に戻すことができます。

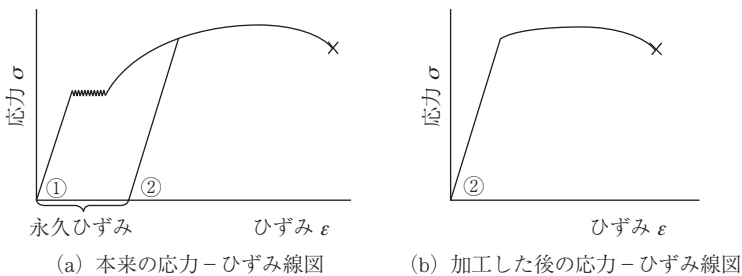


図2 負荷履歴の異なる材料の応力-ひずみ線図

また、同じ材料であっても、製造メーカーによっては力学特性のばらつきが大きいものもあります。自動車の低価格化が進み、コストを下げるためにさまざまな国で生産されていますが、同じ自動車であっても材料の仕入れ先によっては使用される鋼板の性能が異なることもあるようです。一方、航空機用材料では、軽量化を達成するため、使用する材料の履歴とその加工工程を厳密に管理して、安全率の低い設計を可能にしています。

## あ と が き

機械工学を大きく六つの分野に分け、それぞれ 20 ずつのキーワードについて解説した。本書では左側のページに解説を、また右側のページには読者が親しみやすいように簡単なエピソードを挙げることにした。まずは右側のページを読んでいただければ、キーワードの雰囲気をつかんでもらうことができるのではないだろうか。

本書を発行することを決めてから各分野を専門とする教員同士で対象とするキーワードを決めてもらうことにしたが、これが意外と簡単にはいかなかった。20 に限定することが難しく、幾度かキーワードを変更することを繰り返して最終的な形となった。あるいは今後さらに 20 のキーワードを変更する必要があるのかもしれない。しかしながら、本書で説明したキーワードは機械工学を学ぶ学生にとってはどれも大切なもので、しっかりと読んで身に付けてもらいたいものばかりである。また、本書の解説では物足りないと感じる場合は、それぞれの専門書を読んでより知識を深めてもらうことができれば、著者一同にとっては大変に喜ばしいことである。

本書を読むことが機械工学に親しむきっかけとなってくれば、これ以上の喜びはない。特に最近のように機械工学が扱う分野が広がってくると、何を基本として考え、何を学ばなければならないのかということがわかりにくくなっているように思う。このようなときに本書が役に立ってくれば大変に嬉しく思う。

最後に本書を編集するにあたり、株式会社コロナ社の皆様に全面的なご協力を頂きました。ここに記して感謝致します。

編集委員長 李 和樹

# 機械工学キーワード120

120 Keywords in Mechanical Engineering

© 機械工学キーワード120編集委員会 2012

2012年3月16日 初版第1刷発行

検印省略

編 者 機械工学キーワード120編集委員会  
発 行 者 株式会社 コロナ社  
代 表 者 牛来真也  
印 刷 所 萩原印刷株式会社

112-0011 東京都文京区千石 4-46-10

発行所 株式会社 コロナ社  
CORONA PUBLISHING CO., LTD.

Tokyo Japan

振替 00140-8-14844 ・ 電話(03)3941-3131 (代)

ホームページ <http://www.coronasha.co.jp>

ISBN 978-4-339-04621-2

(吉原)

(製本：愛千製本所)

Printed in Japan



本書のコピー、スキャン、デジタル化等の無断複製・転載は著作権法上での例外を除き禁じられております。購入者以外の第三者による本書の電子データ化及び電子書籍化は、いかなる場合も認めておりません。

落丁・乱丁本はお取替えいたします