

図でよくわかる 材 料 力 学

(改訂版)

工学博士 菊池 正紀 共著
博士(工学) 和田 義孝

コ ロ ナ 社

はじめに

本書は、材料力学の初心者念頭において執筆しました。

材料力学は、現場の技術者に役立つようまとめあげられた公式集といって差し支えありません。そこでは、複雑な式の展開はできるだけ行わず、簡単に解を求めることを目的としています。これは、いわば先人の偉大な知恵と経験の集積です。

本書でも、基本的にはそれを踏襲し、複雑な式はできるだけ排除して、平易に読めるよう努めました。最初の応力とひずみについての概念をしっかりと理解したなら、あとの基本的な要素の変形、応力、ひずみの計算は、公式に基づいて行えばよいでしょう。

しかし、近年の技術の進歩に伴い、こうした伝統的な手法だけでは、日々現実にかかる事態を正しく説明できないことが、しばしば起こっています。例えば、従来の材料力学では、材料を均質体として扱って論じてきました。しかし、現実の材料は、さまざまな大きさの初期欠陥を多数持つ非均質材料であり、それが種々の破壊の原因となります。技術の進展により、機器、部品はますます小形化、集積化し、そうした微小な非均質性が、機器の強度に大きく影響することが多くなってきています。

本書では、破壊力学に関する解説を8章に設けました。破壊力学とは、上記のような、材料の非均質性から不可避的に発生する破損、き裂を対象とする学問です。筆者らは、通常材料力学の先に破壊力学を位置づけることが、今後の材料力学教育の必然的な進路であろうと考えてきました。

また、7章では、いまや機械設計の基本的手法となっている、有限要素法を使用する際に必要な基礎知識について解説しています。

なお、本書の完成に当たっては、図表の整理などで東京理科大学理工学部機

械工学科菊池研究室の大橋千夏さんにたいへんお世話になりました。また、コロナ社の関係各位には、数々の助言、忠告をいただきました。ここに心からお礼を申し上げます。

なお、本書は秀和システムから出版されていた『図解入門 よくわかる材料力学の基本』の改訂版です。この本を教科書に使用して講義をした10年の経験を踏まえて、本書では必要な箇所を整理、補筆しました。特に、2章では重ね合わせの原理を丁寧に解説しました。また、7章の有限要素法によるシミュレーションも大幅に書き改め、市販のCAEソフトウェアを使うために必要な知識を解説しました。

2014年2月

著 者

改訂版にあたって

コンピュータによる数値解析技術であるCAEは在宅でも使えるような環境が整えられました。CAEはインターネットを経由していつでもどこでも利用できる便利な手法になったといえます。しかし、コンピュータを用いた便利な手法がいかに普及しようと、材料力学はその基礎となる重要な知識です。

今回の改訂では、コンセプトはそのままに、演習問題と有限要素法の基礎理論を追記しました。また、コロナ社書籍紹介ページ (<https://www.coronasha.co.jp/np/isbn/97843390468161>) に追加資料や一部の問題の詳細な解答を掲載しました。引き続き、材料力学のみならず破壊力学まで含めた強度評価の基本を俯瞰して理解するための構成としております。

本書の改訂にあたって、コロナ社編集部の方々にはご尽力いただきました。ここに改めて御礼申し上げます。

2023年2月

著 者

〔執筆担当〕

菊池 正紀：1, 5, 6, 8章, 和田 義孝：2, 3, 4, 7章

目 次

1. 応力とひずみ

1.1 垂直応力と垂直ひずみ	1
〔1〕垂直応力 1 / 〔2〕垂直ひずみ 3	
1.2 せん断応力とせん断ひずみ	4
〔1〕せん断応力 4 / 〔2〕せん断ひずみ 5	
1.3 応力とひずみの関係	6
〔1〕垂直ひずみと垂直応力の関係 6 / 〔2〕代表的な材料定数 6 /	
〔3〕せん断応力とせん断ひずみの関係 7 / 〔4〕変形量の計算 7	
(コラム) 材料力学は微小変形だけを扱う？	8
1.4 応力-ひずみ線図	8
〔1〕材料強度の試験 8 / 〔2〕応力-ひずみ線図 9 / 〔3〕弾性変形,	
降伏応力 10 / 〔4〕塑性領域, 加工硬化, くびれ 10	
(コラム) 弾性ひずみと塑性ひずみの違いは？	11
1.5 さまざまな応力-ひずみ曲線	12
〔1〕0.2%耐力 12 / 〔2〕延性材料と脆性材料 12	
(コラム) 降伏応力は理論的に予測できる？	14
1.6 応力とひずみの測定法	15
〔1〕ひずみゲージ 15 / 〔2〕光弾性法 16	
(コラム) 塑性ひずみ=転位の発生と移動	17
1.7 安全率と許容応力	18
〔1〕許容応力 18 / 〔2〕基準強さと安全率 18	
(コラム) クリープひずみ	19

1.8 疲労に対する基準強さ	20
〔1〕 疲労 20 / 〔2〕 S-N線図と疲労限 20	
1.9 疲労はなぜ起きるのか	21
〔1〕 材料の不均質性 21 / 〔2〕 応力集中 22 / 〔3〕 疲労の原因は応力集中 22	
(コラム) 骨と金属の違い	23
1章のまとめ	23
演習問題	23

2. 引張りを受ける棒

2.1 重ね合わせの原理	25
2.2 棒の引張りと圧縮	27
2.3 異なる材料を組み合わせた棒	29
〔1〕 複合材料の単純なモデル 29 / 〔2〕 各部の応力、ひずみ、および伸びの計算 30	
(コラム) 複合材料	31
2.4 骨組み構造①：静定問題	31
〔1〕 2本の棒でできた骨組み構造の問題 31 / 〔2〕 解法：力のつり合いを考える 32	
2.5 骨組み構造②：不静定問題	33
〔1〕 3本の棒が1点でピン結合されている問題 33 / 〔2〕 解法：つり合いと変位の条件を考える 34	
2.6 熱 応 力	35
〔1〕 熱ひずみと熱応力 35 / 〔2〕 熱応力は熱ひずみと直接には関係しない 36	
2章のまとめ	37
演習問題	37

3. はりの曲げ

3.1 はり	39
〔1〕はりの荷重方法と支持方法	39 / 〔2〕支持方法の組合せ 41
3.2 せん断力と曲げモーメント	42
〔1〕曲げモーメント	42 / 〔2〕せん断力と、正負の向き 42 / 〔3〕曲げモーメントの正負の向き 43
3.3 せん断力線図と曲げモーメント線図	43
〔1〕S.F.D. と B.M.D.	44 / 〔2〕S.F.D. の描き方 44 / 〔3〕計算例：中央に集中荷重を受ける単純支持はりの B.M.D. と S.F.D. 46 / 〔4〕計算例：分布荷重を受ける単純支持はりの B.M.D. と S.F.D. 48
3.4 S.F.D. と B.M.D. の例	50
〔1〕複数の集中荷重を受ける単純支持はり	51 / 〔2〕等分布荷重を受ける単純支持はり 52 / 〔3〕自由端に集中荷重を受ける片持はり 53 / 〔4〕二つの集中荷重を受ける片持はり 53 / 〔5〕等分布荷重を受ける片持はり 53
3.5 はりに生じる応力	55
〔1〕断面形状によるたわみ方の違い	55 / 〔2〕曲げ応力 56 / 〔3〕中立面と中立軸 57 / 〔4〕はりのたわみ方 58 / 〔5〕断面二次モーメントと曲げ剛性 59 / 〔6〕曲げ応力の求め方 61 / 〔7〕断面一次モーメントと断面二次モーメント 62 / 〔8〕はりに生じるせん断応力 63
3.6 はりのたわみ	65
〔1〕はりのたわみの考え方	65 / 〔2〕計算例：自由端に集中荷重を受ける片持はり 67 / 〔3〕計算例：中心に集中荷重を受ける単純支持はり 68
3.7 重ね板ばね	69
〔1〕平等強さのはり	70 / 〔2〕重ね板ばね 71 / 〔3〕組合せはり 72
3章のまとめ	72
演習問題	73

4. 軸のねじり

4.1 中実丸軸	74
〔1〕動力を伝達する軸	74 / 〔2〕軸に生じる応力とひずみ 75 /
〔3〕断面二次極モーメントとねじり剛性	76
4.2 中空丸軸	77
〔1〕軽量な中空丸軸	77 / 〔2〕中実丸軸との径の比による違い 78
4.3 はりの曲げと軸のねじりの相似点	80
たわみとねじりの計算手順の比較	80
4.4 伝動軸	81
〔1〕軸が伝える仕事	81 / 〔2〕中実丸軸と中空丸軸の比較 82
4.5 円筒形コイルばね	83
〔1〕素線に生じる応力とひずみ	83 / 〔2〕半径と巻数と応力の変化 84
4.6 円錐形コイルばね	85
素線に生じる応力とひずみ	86
4章のまとめ	86
演習問題	87

5. 多軸応力場での応力とひずみ

5.1 三次元場での応力の定義	88
〔1〕応力テンソルの定義	88 / 〔2〕外力と表面力の関係 90
(コラム) テンソルについて	91
5.2 工学ひずみ	91
〔1〕工学ひずみの定義	92 / 〔2〕せん断ひずみの意味 92
5.3 一般化されたフックの法則	94
〔1〕三次元場での応力-ひずみ関係	94 / 〔2〕体積ひずみ 95
5.4 平面応力と平面ひずみ	96
〔1〕二次元近似	96 / 〔2〕平面応力近似 97 / 〔3〕平面ひずみ近似 97

5.5 内圧を受ける薄肉円筒	98
薄肉円筒の問題	98
(コラム) 内圧と外圧を受ける薄肉円筒の応力	100
5.6 焼きばめ問題	100
鋼管と銅管の焼きばめ	100
5.7 応力の座標変換と主応力	102
〔1〕主応力 102 / 〔2〕主せん断応力 104 / 〔3〕モールの応力円 105	
5.8 ロゼットゲージによる応力測定	106
ロゼットゲージ	106
5.9 多軸応力状態での降伏条件	108
二つの降伏条件	108
(コラム) 寸法効果	109
5章のまとめ	110
演習問題	110

6. 応力集中

6.1 円孔の応力集中	112
〔1〕円孔縁での応力分布 112 / 〔2〕応力集中率 113 / 〔3〕円孔縁での応力成分 114 / 〔4〕有限要素法による応力集中の解析例 115 / 〔5〕二つの円孔の干渉 116	
6.2 応力集中のいくつかの例	116
〔1〕四角形の孔による応力集中 117 / 〔2〕隅部の応力集中 117 / 〔3〕だ円孔の応力集中 118	
6.3 応力集中の原因	119
応力集中源の発生	119
6.4 応力集中による破損の例	121
〔1〕輸送船 Schenectady 号の破壊事故 121 / 〔2〕ジェット旅客機コメント号の墜落事故 121 / 〔3〕日本航空 123 便の墜落事故 122 / 〔4〕アロ	

ハ航空の飛行機上部剥離事故 122 / [5] もんじゅの温度計ケースの破損事故 122 / [6] ドイツの高速鉄道の脱線事故 123 / [7] 新幹線の台車の疲労破損事故 123

(コラム) 新聞を読んで材料力学を…………… 123

6.5 応力集中の緩和…………… 123

隅部の応力集中の緩和 124

6.6 応力集中を考慮した設計…………… 125

[1] 切り欠き係数 β 125 / [2] α と β の関係 125 / [3] 応力集中部の監視 126

(コラム) 身近な応力集中の例…………… 126

6章のまとめ…………… 126

7. コンピュータによるシミュレーション…有限要素法

7.1 有限要素法とは…………… 127

[1] コンピュータによる解析 127 / [2] 理論と実現方法 129 / [3] 実行環境と有限要素法ソフトウェア 130 / [4] 有限要素法の適用範囲 131 / [5] CAE システム 132

(コラム) 有限要素法は自然現象をどこまで表現できるでしょうか…………… 133

7.2 有限要素法の理論…………… 134

[1] 仮想仕事の原理 134 / [2] 有限要素法の定式化 135 / [3] 有限要素法による数値解析例 138

7.3 有限要素法による解析…………… 139

解析作業の流れ 140

7.4 モデル作成 / メッシュ生成 / 境界条件とサンブナンの原理…………… 140

[1] モデル作成 141 / [2] メッシュ生成 141 / [3] 境界条件設定 142

7.5 境界条件にまつわる大切なポイント…………… 143

[1] 剛体変位と剛体回転 143 / [2] 対称境界条件 144 / [3] 4分の1対称, 8分の1対称 145 / [4] 接触問題の扱い方 146

7.6 解析 / 可視化 / 適切な解析結果の見方とその検討	147
〔1〕解析 147 / 〔2〕可視化 148 / 〔3〕適切な解析結果の見方とその 検討 148 / 〔4〕計算結果の品質保証 151	
(コラム) 有限要素法の達人になる近道は？	152
7.7 いくつかの失敗事例の紹介	153
7章のまとめ	154
演習問題	154

8. 機器の保守・管理

8.1 破壊の力学	155
〔1〕材料の破壊過程 155 / 〔2〕破壊力学 156	
8.2 き裂先端の応力と応力拡大係数	157
〔1〕き裂にかかる力のモード 157 / 〔2〕応力拡大係数 158	
8.3 破壊条件と破壊靱性	159
〔1〕脆性破壊と延性破壊 159 / 〔2〕脆性破壊の破壊条件 159	
(コラム) 破壊はいつでも悪者でしょうか	160
8.4 機器の保守・管理の手順	161
機器の保守・管理に必要な技術	161
8.5 応力拡大係数の求め方	162
〔1〕引張りを受ける帯板のき裂 163 / 〔2〕さまざまなき裂の応力拡大係 数 163	
8.6 破壊靱性値の求め方	166
〔1〕破壊靱性値の板厚依存性 166 / 〔2〕破壊靱性試験法の概略 166	
8.7 疲労き裂進展予測	168
パリス則によるき裂進展予測	168
8.8 フラクトグラフィ	171
いくつかの破面形態	171
(コラム) さらに進んで学ぶには	173

8章のまとめ	173
参 考 文 献	174
演 習 問 題 解 答	175
索 引	184

1



応力とひずみ

材料の強度をどのように表現するのか，機械の設計のときに何を目安に形状，寸法を決定するのか，そういったことが材料力学の課題です。それらは，「応力」と「ひずみ」という二つのパラメータを用いて評価，判断されます。本章では，応力とひずみの定義，それらの関係について，詳しく説明します。

1.1 垂直応力と垂直ひずみ

応力とひずみは大きく分けて二つに分類できます。そのうち，垂直成分（垂直応力と垂直ひずみ）は，最も広く使用されるものです（もう一つは1.2節参照）。詳しくは5章で定義しますが，ここでは直感的に理解できるよう，簡単に説明します。まず，これらをきちんと理解しましょう。

〔1〕 垂直応力

図1.1に示すように，ある直方体に対して，断面に垂直な方向に力 P が外部から加えられている場合を考えます。このとき，この直方体の内部には，こ

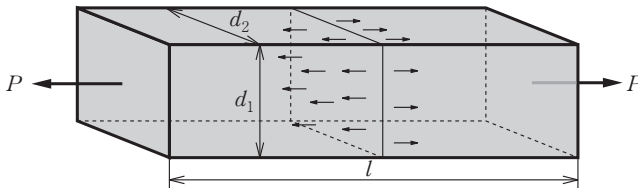


図1.1 垂直な力 P が作用する直方体

2 1. 応力とひずみ

の外力^{†1}とつり合うような内力^{†2}が発生します。

任意の断面（断面積 A とする）で考えれば、この断面には、左右両側から作用 - 反作用の法則^{†3}により、同じ力が断面に垂直に作用しているはずで、この力は断面内に均一に分布すると考えられますから、その力の大きさは

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (1.1)$$

で定義されます。これを垂直応力（normal stress）と呼び、これを表す記号には一般的にギリシャ文字の σ （シグマ）が用いられます。

構造物や材料が外力を受けるとき、内部にはこのような応力^{†4}が生じます。応力の単位は SI 単位系^{†5}で MPa で表されます。表 1.1 は、ほかの単位系との換算表です。

いま、図 1.2 のように、断面積が 10 mm^2 の棒 A に 100 N ^{†6} の力が、断面積

表 1.1 力と応力の単位換算表

力	N	kgf	lb (ポンド)
	1	0.101 97	0.225
	9.807	1	2.205
	4.448	0.453 6	1
応力	MPa	kgf/mm ²	psi
	1	0.101 97	145
	9.807	1	1 421.99
	0.006 89	0.000 703	1

$$1 \text{ MPa} = 10^6 \text{ Pa} = 1 \text{ MN/m}^2 = 1 \text{ N/mm}^2, \quad 1 \text{ psi} = 1 \text{ lb/inch}^2$$

†1 外力：材料や構造などに外から加えられる力

†2 内力：物体内に作用している力

†3 作用 - 反作用の法則：一方が受ける力と他方が受ける力は、つねに、向きが反対で大きさが等しい、という法則

†4 応力：物体に外力が加わることにより、その物体内部に生じる単位面積当りの力

†5 SI 単位系：国際単位系。従来の MKS 単位系（メートル [m]、キログラム [kg]、秒 [s]）を用い、この三つの組合せでさまざまな量の単位を表現していた）を拡張したもので、1960 年に国際度量衡総会で採択されました。SI は、フランス語の Le Systeme International d'Unites の頭文字の略称です。

†6 N：ニュートン。力の大きさを表す単位。1 kg の質量を持つ物体に、 1 m/s^2 の加速度を生じさせる力の大きさが 1 N です。

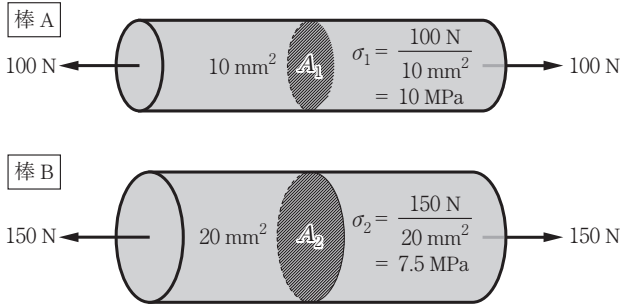


図 1.2 力学的に厳しいのはどちら？

20 mm² の棒 B に 150 N の力が作用しているときを考えてみましょう。

棒 B に作用する力のほうが大きいですが、内部に生じる応力を比較すれば、棒 A には 10 N/mm² = 10 MPa の応力が、棒 B には 7.5 N/mm² = 7.5 MPa の応力が生じていることになり、棒 A のほうが力学的には厳しい状態にあることになります。

このように、作用する外力が大きくても、それが作用している構造物の断面積が大きければ、内部に生じる応力は小さいことになります。すなわち、構造物へ作用する外力の厳しさは、力の絶対量ではなく、それによって内部に生じる応力で判断されるわけです。

〔2〕 垂直ひずみ

力を受けた構造物は変形します。図 1.1 に示した直方体は、図 1.3 のように、長さ、高さ、厚さのすべてが変化します。例えば、長さの変化量を考えてみれば、同じ力が作用したとき、長さが 2 m の棒は長さが 1 m の棒の 2 倍伸びるであろうことは容易に理解できます。

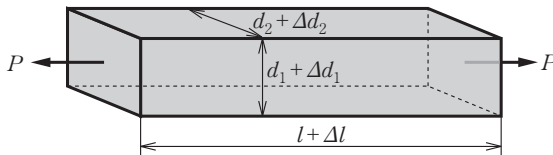


図 1.3 力を受けた直方体の変形

4 1. 応力とひずみ

したがって、棒に生じた変形の程度を知るには、元の長さに対してどれだけ伸びたかを知ることが必要となります。すなわち、伸びを元の長さで割った量を調べることになります。これが**垂直ひずみ**です。

図 1.3 の直方体に対しては、三つのひずみ ε_l , ε_{d1} , ε_{d2} が次式のように定義されます。

$$\varepsilon_l = \frac{\Delta l}{l}, \quad \varepsilon_{d1} = \frac{\Delta d_1}{d_1}, \quad \varepsilon_{d2} = \frac{\Delta d_2}{d_2} \quad (1.2)$$

垂直ひずみは元の長さの変化を示すものであり、垂直応力の作用によって生じるものです。これを表す記号には、ギリシャ文字の ε (イプシロン) が用いられます。

応力は作用する外力の大きさを、ひずみはそれによって生じる変形を、それぞれ元の形状によらず一般的に表現できる量ですから、材料力学の最も基本的なパラメータとして使われます。一般に、材料の強度評価、構造・機器の設計などは、このパラメータを用いて行われます。

1.2 せん断応力とせん断ひずみ

もう一つの応力とひずみは、せん断成分（せん断応力とせん断ひずみ）です。垂直成分との違いを確認しましょう。軸のねじりなどでは、主としてこのせん断応力とせん断ひずみを考えます。

〔1〕せん断応力

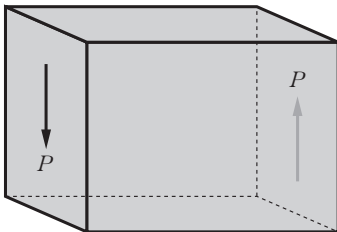


図 1.4 面内に作用するせん断力

図 1.4 のように、力が（考えている断面に垂直でなく）面内に作用することもあります。これを**せん断力**と呼びます。これも垂直応力と同様、内部に内力を生じ、それによって**せん断応力** (shear stress) が発生します。

せん断力 P が作用する断面（断面積 A ）内での、単位面積当りの値

$$\tau = \frac{P}{A} \quad (1.3)$$

がせん断応力であり、ギリシャ文字の τ (タウ) で表されます。

〔2〕 せん断ひずみ

せん断応力により、図 1.4 の直方体は図 1.5 のように変形するものと考えられます。このとき、直方体の変形量は、長さ方向ではなく、垂直方向に生じます。これをせん断変形と呼びます。

この変形量も、元の長さ l に比例することは明らかでしょう。したがって変形の程度を表すには、ここでも変形量を元の長さで割った「単位長さ当りの変形量」

$$\gamma = \frac{\Delta l}{l} \quad (1.4)$$

で示す必要があることとなります。これをせん断ひずみ (shear strain) と呼び、その記号にはギリシャ文字の γ (ガンマ) が用いられます。

せん断ひずみは、物体の体積変化をもたらさず、形状変化のみを生じるものです。図 1.5 に示したように、変形前は直角であった直方体の角部が、変形後は直角から少し角度を減少させています。この角度減少量は、 $\Delta l \leq l$ とすれば、せん断ひずみと同じになります。すなわち、物体の内部に直角の交線を描いておいたとき、変形によりその交線が直角から減少した角度量をせん断ひずみであると定義することもできます。これは直感的に理解しやすく、現在では工学ひずみとして広く利用されているものです。

垂直ひずみやせん断ひずみは無次元量です。金属などでは一般にこのひずみはきわめて小さい量であり、 10^{-6} から 10^{-4} 程度のオーダーの量です。

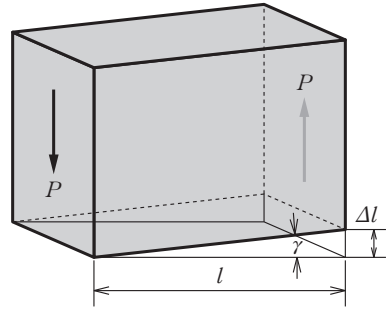


図 1.5 せん断力により変形した直方体

索引

【あ】		仮想変位	135	三点曲げ試験片	166
安全率	19	片持はり	41	サンブナンの原理	142
		上降伏点	10		
【い】		【き】		【し】	
一般化されたフックの法則	95	幾何学的非線形	132	軸	74
移動支点	41	基準強さ	18, 21	軸方向応力	98
異方性	132	境界要素法	130	軸力	32
		許容応力	18	仕事率	81
【え】		切り欠き係数	125	——の単位	82
円錐形コイルばね	86	き裂	156	下降伏点	10
延性材料	12			縦主軸	57
延性破壊	159	【く】		集中荷重	40
円筒形コイルばね	83	クリーブ	19	自由表面	91
		クリーブひずみ	19	周方向応力	98
【お】		【け】		主応力	104
応力	2	形状関数	136	主応力面	104
応力拡大係数	158	【こ】		主せん断応力	104
応力拡大係数範囲	169	工学ひずみ	5, 92	主せん断応力面	104
応力集中	22	剛性マトリックス	138	初期欠陥	155
応力集中度	113	剛体回転	144	【す】	
応力テンソル	90	剛体変位	144	垂直応力	2
応力-ひずみ線図	9	降伏応力	10	垂直ひずみ	4
		降伏条件	108	スカラ	91
【か】		固定支点	41	ストライエーション	171
回転移動	144	コンタ図	148	寸法効果	109
回転支点	40	コンピュータグラフィックス	129		
外力	2	【さ】		【せ】	
加工硬化	10	材料定数	6	脆性材料	13
重ね合わせの原理	26	作用-反作用の法則	2	脆性破壊	159
重ね板ばね	71			静定問題	33
荷重-変位線図	9			静的	132
仮想仕事の原理	135			節点	128
				せん断応力	4

せん断弾性係数	7	等方性	132	疲 勞	20
せん断ひずみ	5	トルク	75	疲労限	21
せん断変形	5	トレスカ	108	ピン接合	31
せん断力	4, 42				
せん断力線図	44				
		【な】		【ふ】	
【そ】		内 力	2	不均質性	21
塑性ひずみ	10, 11			複合材料	31
		【に】		不静定問題	35
【た】		肉盛溶接	124	フラクトグラフィ	162
体積ひずみ	95	二次元近似	96	プーリアン演算	141
縦弾性係数	6			プレプロセッシング	140
たわみ	65	【ね】		分布荷重	40
たわみ角	65	ねじり角	75		
たわみ曲線	65	ねじり剛性	77	【へ】	
単純支持はり	41	ねじりモーメント	75	平行移動	144
弾性定数	6	熱応力	36	平面応力近似	97
弾性ひずみ	11	熱ひずみ	36	平面ひずみ近似	97
弾塑性破壊	159	熱膨張率	36	平面ひずみ破壊力学	166
断面一次モーメント	62	【は】		ベクトル	91
断面係数	59	破壊靱性	160	偏微分方程式	129
断面二次モーメント	59, 62	破壊靱性値	166	【ほ】	
断面二次極モーメント	76	破壊力学	119, 157	ポアソン比	6
		破断ひずみ	11	ポストプロセッシング	140
【ち】		は り	39	骨組み構造	31
中空丸軸	77	馬 力	82		
中実丸軸	74	パリス則	168	【ま】	
中立軸	57	半径方向応力	98	曲げ応力	56
中立面	57	汎用コード	132	曲げ剛性	59
				曲げモーメント	42
【て】		【ひ】		曲げモーメント線図	44
定 常	132	光弾性法	17	マトリックス	91
ディンプル	172	ひずみ形状マトリックス	137	【み】	
転 位	17	ひずみゲージ	15	ミーゼス	108
転位論	17	引張り試験機	8	ミーゼス応力	108
伝動軸	81	引張り強さ	11	ミルシート	12
		非定常	132		
【と】		比ねじり角	75	【め】	
等価接点力	138	非破壊検査	162	メインプロセッシング	140
動 的	132	平等強さのはり	71		

メッシュ	127				
メッシュ生成	141				
		【や】			【ら】
		焼きばめ	101	らせん角	75
		ヤング率	6		
				【り】	
モードⅠ	158	【ゆ】		離散化	130
モードⅢ	158			リバーパターン	172
モードⅡ	158	有限差分法	130		
モーメント荷重	40	有限要素法	115		
モールの応力円	105			【ろ】	
		【よ】		ロゼットゲージ	107
		要素	128		

【数字】		【C】		【S】	
0.2% 耐力	12	CFRP	29, 31	S. F. D.	44
		CT 試験片	166	SI 単位系	2
				S-N線図	20
【B】		【H】			
B. M. D.	44	HP	82		

— 著者略歴 —

菊池 正紀 (きくち まさのり)

1971年 東京大学工学部精密機械工学科卒業
1973年 東京大学大学院工学系研究科修士課程修了 (精密機械工学専攻)
1976年 東京大学大学院工学系研究科修士課程修了 (精密機械工学専攻)
工学博士
東京大学助手
1978年 東京理科大学講師
1980年 Gergia 工科大学博士研究員 (1981年まで)
1985年 東京理科大学助教
1992年 東京理科大学教授
2015年 東京理科大学名誉教授

和田 義孝 (わだ よしたか)

1993年 東京理科大学工学部機械工学科卒業
1995年 東京理科大学大学院理工学研究科修士課程修了 (機械工学専攻)
1997年 東京大学大学院工学系研究科中退
東京大学大学院工学系研究科助手
1998年 博士 (工学) (東京大学)
2000年 高度情報科学技術研究機構研究員
2002年 諏訪東京理科大学講師
2006年 諏訪東京理科大学助教
2007年 諏訪東京理科大学准教授
2010年 Virginia 工科大学客員教授
2012年 近畿大学准教授
2017年 近畿大学教授
現在に至る

図でよくわかる材料力学 (改訂版)

Introduction to Strength of Materials for Engineers (Revised Edition)

© Masanori Kikuchi, Yoshitaka Wada 2014, 2023

2014年 4月25日 初版第1刷発行

2023年 5月15日 初版第5刷発行 (改訂版)

検印省略

著者 菊池 正紀
和田 義孝
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
製本所 有限会社 愛千製本所

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 <https://www.coronasha.co.jp>

ISBN 978-4-339-04681-6 C3053 Printed in Japan

(西村)



JCCOPY <出版者著作権管理機構 委託出版物>

本書の無断複製は著作権法上での例外を除き禁じられています。複製される場合は、そのつど事前に、出版者著作権管理機構 (電話 03-5244-5088, FAX 03-5244-5089, e-mail: info@jcopy.or.jp) の許諾を得てください。

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います。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いません。落丁・乱丁はお取替えます。