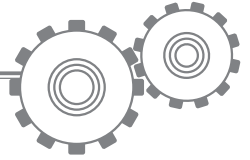

「技術系公務員・技術士試験」

解答力を高める 機械4力学 基礎演習

— 材料力学, 機械力学・振動・制御,
熱力学, 流体力学 —

土井 正好〔著〕

コロナ社



まえがき

本書は、機械工学における「大卒技術系公務員」や「技術士資格」の合格対策として最も効果を発揮するようにつくっています。本書で取り上げる問題は、機械工学分野の問題として代表といえる公務員試験と技術士試験なので、これらの解法を通じて機械工学全般の基礎知識を固めることができます。一方、大学院入試や大学3年次編入試験はさらにレベルの高い問題や各大学の特徴ある問題が出題されます。とはいえ、最初に本書の演習問題を通じて機械4力学の基礎を固め、次に大学院入試や大学編入試験問題に向き合うと、さらに学習効果が高まることでしょう。また、機械4力学をこれから習う人や他分野出身ではあるものの機械工学分野の問題に対して解答力を身に付けたい方にも十分対応できるよう配慮しています。

本書の目的は、大学および高専の機械工学系の学生に対する機械工学基礎解答力養成を第一としています。またそれ以外にも、技術系公務員や技術士資格に合格したい方、短期間に機械工学全般を復習したい社会人の方（機械工学分野出身でなくてもOK）も対象としています。

そのため、学校で機械工学を習っていない未学習者にも理解できるよう工夫しました。一つ目は、各力学の章冒頭に問題解法に用いる公式をすべて集めました。二つ目は、各問題とその解説を1ページもしくは見開き2ページに限定し見やすくしました。三つ目は力学イメージをできるだけ図解したことです。機械4力学は高校物理の力学を基礎としています。機械工学は目に見え体感できる物理学を応用した学問です。このため、高校物理の知識があれば機械工学をまだ習っていないくても本書の解法を十分理解できます。また問題の難易度も基礎に留めています。

私は現在、地方私立大学で制御工学を教えています。機械工学各力学の専門家ではありませんが、制御工学では機械工学全般を扱います。これまで、毎年10名程度のゼミ生を受け持ち、第7期まで巣立ちました。今まで土井ゼミOB

の内 47 名が技術系公務員として就職しています。具体的な進路を挙げると、国家総合職の特許庁審査官、国家専門職の労働基準監督官、航空・海上自衛隊技術幹部、国家一般職では中国経済産業局、中国・九州・四国地方整備局、中国・四国管区警察局、船舶・航空機・自動車検査官、中国総合通信局、地方上級職では東京都・東京 23 区、横浜市、広島市などに進み、嬉しいことにこれまで離職者はゼロです。

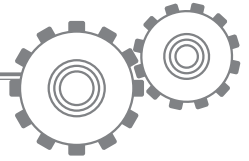
国家一般職公務員採用試験は午前基礎試験(教養試験)、午後専門試験(数学・物理・機械工学)と論述(作文)試験があり、最近 3 年間の一次筆記試験合格ボーダーラインは基礎試験 30% (足切点)・専門試験 40% です。また、国家一般職では一次筆記試験合格後の最終不合格の割合はたった 20% です。一方、地方自治体は筆記試験に合格しやすいもののその後の面接が厳しく、筆記試験合格後も半分は不合格となります。

技術士一次試験は各科目 50% 以上の正解で合格します。合格率も機械部門について例年 50% 程度です。ただし、技術士資格に至るには一次試験合格および業務経歴 7 年以上を経てようやく二次試験の受験資格が得られます。このため、技術士合格者の平均年齢は 40 代と高く二次試験の合格率も 20% 程度と難関です。しかしながら、難しいからこそ技術士資格の価値は高く、会社によっては博士号と同待遇の評価を受けます。

読者の中には公務員試験や技術士試験に関心を持たれない方も多いかもしれませんが、本書はあくまで題材として試験問題を用いており、本来の第一目的は機械工学の基礎力を高めることです。皆様の機械工学理解の期待に本書が応えられることを心から願っております。

2018 年 11 月

土井 正好



目次

第 1 章 材料力学	1
1.1 応力とひずみ, 軸のねじれ (8 題 問 1 ~ 8)	3
1.2 はりの曲げ (5 題 問 9 ~ 13)	17
1.3 断面二次モーメント・座屈荷重 (6 題 問 14 ~ 19)	26
1.4 棒のねじり (4 題 問 20 ~ 23)	33
1.5 薄肉円筒 (3 題 問 24 ~ 26)	37
1.6 組み合わせ応力 (1 題 問 27)	40
1.7 熱応力 (2 題 問 28 ~ 29)	42
第 2 章 機械力学・振動・制御	46
2.1 力のつりあい (4 題 問 30 ~ 33)	48
2.2 滑 車 (5 題 問 34 ~ 38)	52
2.3 慣性モーメント (3 題 問 39 ~ 41)	60
2.4 物体の運動 (5 題 問 42 ~ 46)	63
2.5 振 動 (5 題 問 47 ~ 51)	72
2.6 制 御 (7 題 問 52 ~ 58)	79
第 3 章 熱力学	91
3.1 熱仕事・融解熱 (4 題 問 59 ~ 62)	93
3.2 理想気体の状態変化 (5 題 問 63 ~ 67)	99
3.3 熱サイクル (6 題 問 68 ~ 73)	105
3.4 燃 焼 (2 題 問 74 ~ 75)	112
3.5 伝熱・比熱 (3 題 問 76 ~ 78)	114
3.6 エントロピー・エンタルピー (3 題 問 79 ~ 81)	118

第4章 流体力学	122
4.1 静水力学 (3題 問82～84)	124
4.2 動水力学 (6題 問85～90)	127
4.3 流れ (7題 問91～97)	134
4.4 ピトー管・マンメータ (7題 問98～104)	145

※問題の右上にある用語(◆)はその年に行われたテスト名の略称です。

例1)

平成24年度国家公務員採用一般職試験(大卒程度)
第一次試験専門試験(機械区分)

問題 1

◆ H24 国家一般職

直径 d 、縦弾性係数 E の丸棒に軸方向の圧縮荷重 P を加えた。丸棒は
一様に変形したとすると、丸棒の直径の伸びを求めよ。ただし、丸棒の
ポアソン比を ν とする。

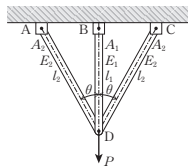
例2)

平成29年度技術士第一次試験(機械部門)

問題 8

◆ H29 技術士一次

下図に示すように、3本の棒 AD、BD、CD からなるトラス構造にお
いて、棒 BD はヤング率 E_1 、断面積 A_1 、長さ l_1 、棒 AD と CD は同じ
ヤング率 E_2 、同じ断面積 A_2 、同じ長さ l_2 であり、左右対称である。ま
た、棒 AD と棒 BD のなす角度と棒 CD と棒 BD のなす角度は共に θ で
ある。D 点に下向きの力 P が作用するとき、棒 BD に生じる軸力 T_1 と
棒 AD、CD に生じる軸力 T_2 はいくらかそれぞれ求めなさい。





第 1 章

材料力学

◆公式集◆

フックの法則

$$\sigma (\text{応力}) = E (\text{縦弾性係数}) \cdot \varepsilon (\text{ひずみ})$$

$$\varepsilon (\text{ひずみ}) = \frac{\lambda (\text{伸び})}{l (\text{長さ})} \quad \text{ひずみ } \varepsilon \text{ とは単位長さ [m] 当りの伸び } \lambda$$

$$\sigma (\text{応力}) = \frac{P (\text{荷重})}{S (\text{断面積})}, \quad \tau (\text{せん断応力}) = \frac{W (\text{せん断荷重})}{S (\text{断面積})}$$

ポアソン比

$$\nu = \left| \frac{\varepsilon'}{\varepsilon} \right|, \quad \varepsilon = \frac{l - l_0}{l_0} = \frac{\lambda}{l_0}, \quad \varepsilon' = \frac{d - d_0}{d_0} = -\frac{\lambda'}{l_0}$$

棒を長さ方向に引っ張る (圧縮) と伸びる (縮む) が³, 同時に棒の直径は反対に縮む (伸びる)。この比率をポアソン比という。

はりのたわみ

$$\delta = \beta \frac{Fl^3}{EI}$$

一点集中荷重 $\beta = \frac{1}{3}$, 等分布荷重 $\beta = \frac{1}{8}$, 両端支持荷重 $\beta = \frac{1}{48}$

モーメント

$$M (\text{モーメント}) = F (\text{力}) \times l (\text{回転中心からの距離})$$

オイラーの座屈荷重

$$P = n \frac{\pi^2 EI}{l^2}$$

※ n の値 → 両端回転端 : 1, 一端固定他端自由 : 1/4, 両端固定端 : 4

断面二次モーメント

辺 a の正方形断面 $I = \frac{a^4}{12}$, 横幅 b 高さ h の長方形断面 $I = \frac{bh^3}{12}$

直径 d の円断面 $I = \frac{\pi d^4}{64}$

※ I : 横断面の中立軸に関する二次モーメント

中空軸の最大せん断応力 $\tau_{\max} = \frac{16Td_1}{\pi(d_1^4 - d_2^4)}$

ねじり角 $\theta = l \cdot \Delta\theta = \frac{Tl}{GI_P}$

丸棒の断面二次極モーメント $I_P = \frac{\pi d^4}{32}$, $\tau_{\max} = \frac{T}{Z_P}$ Z_P : 極断面係数

薄肉円筒の応力

円周方向 σ (応力) = $\frac{p(\text{内圧})d(\text{円筒内径})}{2t(\text{円筒の厚さ})}$, 軸方向 $\sigma = \frac{pd}{4t}$

最大主応力 $\sigma_1 = \frac{1}{2}(\sigma_x + \sigma_y) + \sqrt{\left[\frac{1}{2}(\sigma_x - \sigma_y)\right]^2 + (\tau_{xy})^2}$

最小主応力 $\sigma_1 = \frac{1}{2}(\sigma_x + \sigma_y) - \sqrt{\left[\frac{1}{2}(\sigma_x - \sigma_y)\right]^2 + (\tau_{xy})^2}$

熱膨張 $\lambda = l \cdot \alpha \cdot \Delta t$ λ : 伸び, α : 線膨張係数, Δt : 温度変化

熱応力 $\sigma = E \cdot \alpha \cdot \Delta t$ α : 線膨張係数, Δt : 温度変化



1.1 応力とひずみ, 軸のねじれ

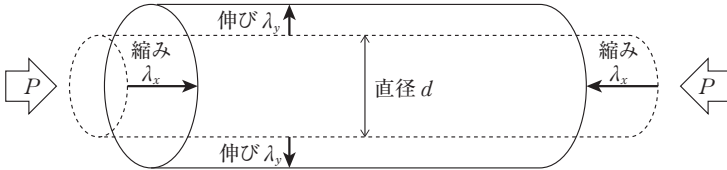
問題 1

◆ H24 国家一般職

直径 d , 縦弾性係数 E の丸棒に軸方向の圧縮荷重 P を加えた。丸棒は一樣に変形したとすると、丸棒の直径の伸びを求めよ。ただし、丸棒のポアソン比を ν とする。

解答

問題の状況を下図に表す。



ポアソン比 $\nu = \left| \frac{\varepsilon'_y}{\varepsilon'_x} \right|$, ε (ひずみ) = $\frac{\lambda$ (伸び)}{l (長さ) より

$$\nu = \left| \frac{\varepsilon_y}{\varepsilon_x} \right| = \left| \frac{\lambda_y/d}{\varepsilon_x} \right|, \lambda_y = \nu \cdot \varepsilon_x \cdot d \quad (1.1)$$

フックの法則 σ (応力) = E (縦弾性係数) $\cdot \varepsilon$ (ひずみ), σ (応力) = $\frac{P$ (荷重)}{S (断面積)

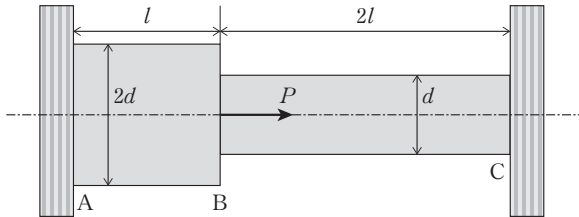
より

$$\begin{aligned} \lambda_y &= \nu \cdot \varepsilon_x \cdot d = \nu \cdot \frac{\sigma_x}{E} \cdot d = \nu \cdot \frac{P/S}{E} \cdot d = \nu \cdot \frac{P}{ES} \cdot d = \nu \cdot \frac{P}{E} \cdot \frac{d}{\frac{\pi d^2}{4}} \\ &= \frac{4P\nu}{E\pi d} \quad (1.2) \end{aligned}$$

問題 2

◆ H24 国家一般職

図のように、両端を剛体壁に固定された連結丸棒の連結部分に、力 P が軸方向に作用するとき、連結部分の変位の大きさを求めよ。ただし、棒 AB の直径を $2d$ 、長さを l とし、棒 BC の直径を d 、長さを $2l$ とし、縦弾性係数はいずれの棒も E とする。



解答

フックの法則 σ (応力) = E (縦弾性係数) $\cdot \varepsilon$ (ひずみ)

$$\varepsilon \text{ (ひずみ)} = \frac{\lambda \text{ (伸び)}}{l \text{ (長さ)}}, \quad \sigma \text{ (応力)} = \frac{P \text{ (荷重)}}{S \text{ (断面積)}} \quad \text{より}$$

$$\lambda_{\text{左}} = l \cdot \varepsilon_{\text{左}} = l \cdot \frac{\sigma_{\text{左}}}{E} = l \cdot \frac{P_{\text{左}}/S}{E} = l \cdot \frac{P_{\text{左}}}{E(\pi(2d)^2/4)} = \frac{P_{\text{左}}l}{E\pi d^2} \quad (\text{伸びる}) \quad (2.1)$$

$$\lambda_{\text{右}} = 2l \cdot \varepsilon_{\text{右}} = 2l \cdot \frac{\sigma_{\text{右}}}{E} = 2l \cdot \frac{-P_{\text{右}}/S}{E} = 2l \cdot \frac{-P_{\text{右}}}{E(\pi d^2/4)} = \frac{-8P_{\text{右}}l}{E\pi d^2} \quad (\text{縮む}) \quad (2.2)$$

ここで、 $\lambda_{\text{左}}$ (伸び) = $-\lambda_{\text{右}}$ (縮み), $P_{\text{左}}$ (引張) + $P_{\text{右}}$ (圧縮) = P より

$$\frac{P_{\text{左}}l}{E\pi d^2} = \frac{8(P - P_{\text{右}})l}{E\pi d^2} \rightarrow P_{\text{左}} = \frac{8}{9}P, \quad P_{\text{右}} = \frac{1}{9}P \quad (2.3)$$

$$\lambda_{\text{右}} = \frac{-8P_{\text{右}}l}{E\pi d^2} = \frac{-8\left(\frac{1}{9}P\right)l}{E\pi d^2} = \frac{-8Pl}{9E\pi d^2} \quad \text{⚙️ 罫}$$

$$\lambda_{\text{左}} = \frac{\left(\frac{8}{9}P\right)l}{E\pi d^2} = \frac{8Pl}{9E\pi d^2} \quad \text{⚙️ 罫} \quad (2.4)$$

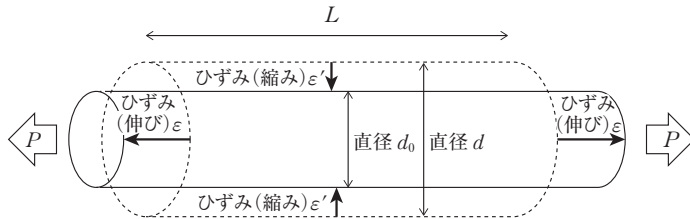
問題 3

◆ H26 国家一般職

直径 d 、長さ L の丸棒の軸方向に引張荷重 P を加えたとき、丸棒の直径の収縮量を求めよ。ただし、縦弾性係数を E 、ポアソン比を ν とする。

解答

問題の状況を下図に表す。



フックの法則 σ (応力) = E (縦弾性係数) $\cdot \epsilon$ (ひずみ), σ (応力) = $\frac{P$ (荷重)}{S (断面積)

ポアソン比 $\nu = \left| \frac{\epsilon'}{\epsilon} \right|$, $\epsilon' = \frac{d - d_0}{d_0} = -\frac{\lambda'}{l_0}$

より

$$\epsilon = \frac{\sigma}{E} = \frac{P/S}{E} = \frac{P}{E(\pi d^2/4)} = \frac{4P}{E\pi d^2} \quad (3.1)$$

$$d - d_0 = d\epsilon' = d\nu\epsilon = d\nu \cdot \frac{4P}{E\pi d^2} = \frac{4P\nu}{E\pi d} \quad (3.2)$$

— 著 者 略 歴 —

1991年 刈商船高等専門学校機関学科卒業
1994年 豊橋技術科学大学工学部生産システム工学課程卒業
1996年 防衛庁入庁
1999年 防衛大学校理工学研究科修士課程修了
2003年 博士（工学）（慶應義塾大学）
2007年 舞鶴工業高等専門学校准教授
2010年 広島工業大学准教授
現在に至る

「技術系公務員・技術士試験」

解答力を高める 機械4力学基礎演習

—材料力学, 機械力学・振動・制御, 熱力学, 流体力学—

© Masayoshi Doi 2019

2019年1月15日 初版第1刷発行



検印省略

著 者	と い まさ よし 土 井 正 好
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 <http://www.coronasha.co.jp>

ISBN 978-4-339-04659-5 C3053 Printed in Japan

(新井) N



JCOPY <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・乱丁はお取替えいたします。