

技術専攻の学生に向けた授業「材料力学」の授業実践

Class practice of the lecture "Strength of materials" for the technology education student

北村 一浩

愛知教育大学技術教育講座

Kazuhiro Kitamura

Department of Technology Education, Aichi University of Education

キーワード：材料力学，授業実践，機械工学

Keywords: strength of materials, class practice, mechanical engineering

1. はじめに

本稿は、技術専攻の大学生に対する「材料力学」の授業実践を通して見えてきた効果的な教材の構成と展開を報告するものである。

さて、機械工学における専門知識は、材料力学、機械力学、熱力学、流体力学の四力学と実際の機械を実現するための機械設計・工作および機械制御工学などである。また機械工学の専門科目は、材料力学、流体力学、熱工学、機械設計・工作、機械力学・制御という五つの分野で構成されている。

本学中等教育教員養成課程 技術専攻では中学校・技術科で求められる幅広い分野の知識を習得するため、工学系の幅広い専門科目をまんべんなく履修するカリキュラムになっている。そのため、工学系大学と比較して機械工学科の科目が少なく「機械工学概論」（1年生後期）、「原動機」（1年生後期）、「材料力学」（2年生前期）、「機構学」（3年生後期）、「機械要素力学」（4年生後期）、「機械実験」（3年生前期）の6科目のみである。

次に「材料力学」の授業計画上の留意事項について述べる。1年次に開設されている機械工学概論などの機械系の科目はなく、学生は2年生でいきなり「材料力学」の授業を受ける。「材料力学」の授業は、2年次の専門必修科目として開設されており、授業で扱う内容は、大学の機械工学科で行なわれている「材料力学」と同様である。しかし、機械工学の基礎科目が少ないため、工業系の大学の機械工学科で行われているすべての授業内容を半期（15回の講義）の「材料力学」の授業で行うことは困難である。そのため、「材料力学」授業では、やさしい内容の教科書を使用し、重要と考えられる部分のみで授業を行うとともに、演

習の時間を多く設け、確実に内容が身につくような計画で授業を行っている。

以上の考えから、「材料力学」の授業では、はじめに材料力学で扱う内容について示すとともに、国際単位系と工学単位系について扱い、その後は教科書に沿って、応力とひずみ、フックの法則と弾性係数、棒の自重による応力と変形、引張または圧縮の不静定問題、円断面棒のねじり、はりのせん断力・曲げモーメント、はりの曲げ・せん断応力、はりのたわみについて扱うことにした。現在本学技術専攻の学生に向けて行っている具体的な全体授業計画を2章で示す。

2. 全体授業計画

全体の授業計画を表1に示す。15回で以下の内容について授業を行う。また、実践している授業の詳しい内容を3章に示す。材料力学の授業では、実習を5回入れるなど、計算問題に慣れるための工夫をしている。

表1 授業全体計画

時間	学習内容
1	材料力学で扱うこと、国際単位系と工学単位系
2	応力とひずみ
3	フックの法則と弾性係数
4	第1回から第3回に関連した演習問題
5	棒の自重による応力と変形
6	引張または圧縮の不静定の問題

7	第5回, 6回に関連した演習問題
8	円断面棒のねじり
9	第8回に関連した演習問題
10	はりのせん断力・曲げモーメント
11	はりの曲げ・せん断応力
12	第10回, 11回に関連した演習問題
13	はりのたわみ
14	第13回に関連した演習問題
15	全体のまとめ

と変形, 幾何学的形状, 境界条件) について説明した。最後に, 国際単位系の説明と, 工学単位系との換算方法について, 例題を交えて扱った。第1回目の例題の学生の解答は良好であった。

3.2. 応力とひずみ

第2回目の授業内容を以下に示す。ここでは, 応力とひずみについて説明した。図1に引張応力の説明を示している。また, 図2にリベットに作用するせん断応力を示している。応力は, 単位断面積あたりの荷重のことで, 引張応力, 圧縮応力, せん断応力, 曲げ応力などがあることを示した。

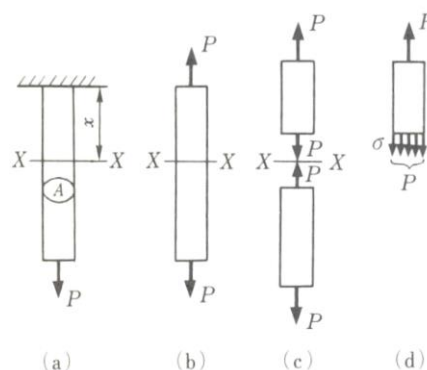


図1 応力の説明¹⁾

3. 実践している授業の詳しい内容¹⁾

授業実践している授業の詳しい内容を以下に示す。

3.1. 材料力学で扱うこと, 国際単位系と工学単位系

第1回目の授業内容を以下に示す。第1回目では, 材料力学で扱うことと, 国際単位系と工学単位系について扱った。はじめに, 材料力学で扱うことについて説明した。材料力学は, 任意の荷重条件下にある機器や構造物の各部に作用している力や変形状態を明らかにし, それらの結果を機器や構造物の安全設計に役立てるための基礎的学問であることを示した。次に, 等方性 (材料中のある点における性質が方向によって変わらないこと)・均質性 (材料の性質がその位置によらず変わらないこと)・連続性 (材料の内部に空洞, き裂, 欠陥および異物質がないこと)の仮定を説明した。次に, 材料力学で重要な微小変形の仮定 (外力によって生ずる変形の大きさは, 物体自体の寸法に比べてきわめて小さいと仮定する) について示した。次に, 材料力学の解析の手法 (釣り合い, 力

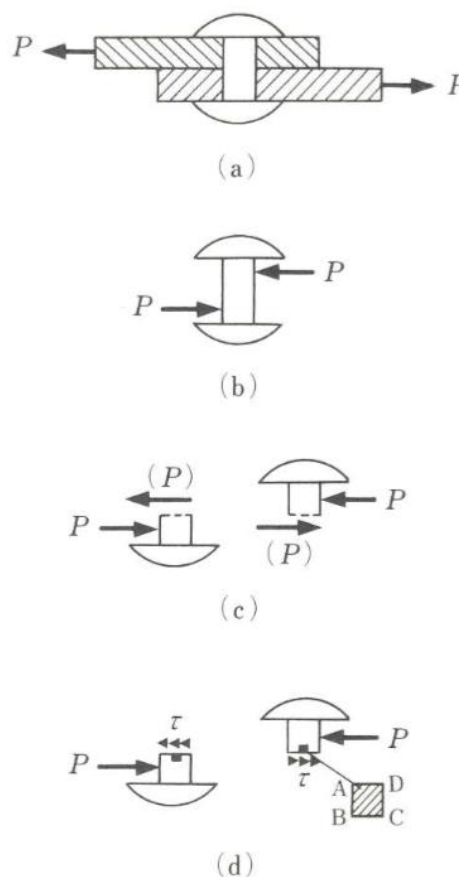


図2 リベットに作用するせん断応力¹⁾

次に、ひずみについて説明した。ひずみは、伸びを元の長さで割ったもので、縦ひずみ、横ひずみ、せん断ひずみなどがあることを示した。また、縦ひずみと横ひずみの比のことをポアソン比と言うことを示した。学生は、「段付き棒に作用する応力とひずみ」、「一定断面の縦ひずみ、横ひずみ、ポアソン比」の演習を行うことにより、計算に慣れるができた。

3.3. フックの法則と弾性係数

第3回目の授業内容を以下に示す。まず、弾性と塑性の違いについて説明した。弾性は、物体に荷重を加えると変形し、荷重を取り除くと変形量が完全になくなる性質を言う。この性質は、弾性限度内のある範囲において正比例の関係があることが実験的にわかっている。この現象はフックの法則として知られており、中学校理科で扱った内容である。また、フックの法則が成立する限界の応力を比例限度という。弾性限度を超えて荷重を付加すると、その荷重を取り除いても変形が残留する現象が現れる。この現象を塑性という。引張変形による応力とひずみの関係は、 $\sigma = E \epsilon$ で表される。ここで、 σ は応力、 ϵ はひずみ、 E は縦弾性係数またはヤング率と呼ばれる。 E は物質に固有の値である。また、長さ l で一様断面積 A を有する棒の伸びは、 $\delta = Pl/AE$ の関係で表され、 δ は材料の伸び、 P は荷重、 A は断面積、 E は縦弾性係数である。この式は、せん断変形についても同様に成立し、 $\tau = G \gamma$ の関係で表される。ここで、 G は横弾性係数またはせん断弾性係数と呼ばれる。学生は、縦弾性係数及び横弾性係数の導出に関する演習を行うことにより、計算に慣れるができた。

3.4. 棒の自重による応力と変形

第5回目の授業内容を以下に示す。ここでは、棒の自重によって生ずる応力とひずみについてあるかった。第2回の授業では、材料の自重を無視して、材料のかかる荷重のみを考慮して応力やひずみを求めていた。しかし、実際の機械設計では、材料の自重を考慮しておく必要がある。そのため、自重による変形と荷重による変形を分けて扱う必要がある。このように自重によって生ずる応力とひずみには、大型構造物のみでなく、高速回転な

ど遠心力がかかる場合にはにも、考慮する必要がある。図3に自重を考慮した応力と変形の関係を示す。学生は、「自重を考慮する一様断面棒」、「鋼でできた線材を垂らすことができる最大長さ」、「平等強さの形状を持った鋼材の応力と最大伸び」、「天井から吊るされる直円断面棒」、「遠心力による応力と変形」などの演習を行うことにより、計算に慣れるができた。

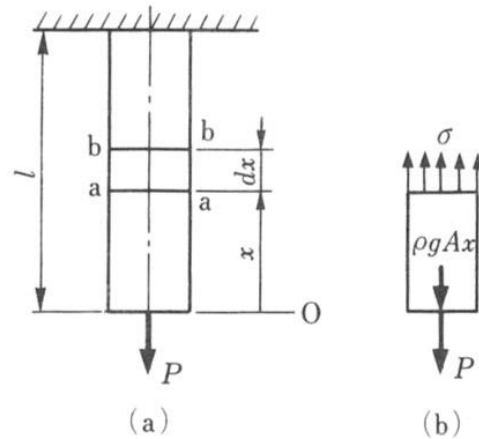


図3 自重を考慮した応力と変形¹⁾

3.5. 引張または圧縮の不静定の問題

第6回目の授業内容を以下に示す。静定問題とは、構造物の部材に作用する力が、静力学的な力とモーメントの釣り合い式のみから求まるものを言う。しかし、静力学的な釣り合いの式のみからでは、各部材に作用する力が求まらず、構造物の変形を考慮して初めて解決される問題を不静定問題という。図4は、3本の棒からなる不静定問題の図である。以下の演習を行うことにより、学生は、「3本の棒からなる不静定問題」、「軸力を受ける両端固定棒」、「材質と断面積が異なった棒からできた構造物が力を受ける場合」などの演習を行うことにより、計算に慣れるができた。

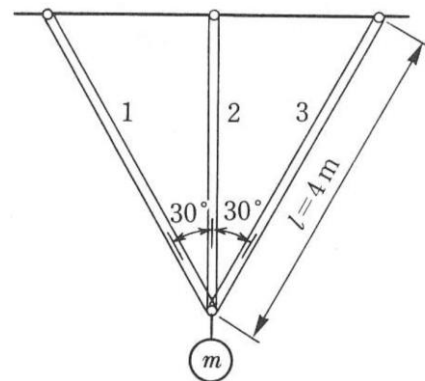


図4 3本の棒からなる不静定問題¹⁾

3.6. 円断面棒のねじり

第8回目の授業内容を以下に示す。身の回りの機械には、回転する部品が多数使われている。その代表的なものはモータであり、扇風機や掃除機、冷蔵庫などありとあらゆる家電製品に使われている。エンジンも回転運動を発生させる部品であり、自動車をはじめとする輸送機器に使われている。図5は、伝動軸の説明図である。モータやエンジンによる回転は、回転軸を介して伝達されるが、この時、回転軸の内部にはねじりモーメントが作用する。図6は、トルクを受ける丸棒の概要を示している。ねじりモーメントにより回転軸内部に生じる応力とねじり角の計算を行うことは、回転軸の破損を防ぐ意味でも重要である。これらの回転軸は、「伝動軸」と呼ばれ、伝動軸が伝える動力を計算により求めることができる。そのため、以下の演習を行うことにより、学生は、「丸棒にねじりモーメントを作用させた時に生ずる最大ねじり応力とねじり角」や「中空棒にねじりモーメントを作用させた時に生ずる最大ねじり応力とねじり角」、「伝動軸が伝える動力」、「必要な動力を伝える伝動軸の直径を求める」、「円形でない断面を持つ軸のねじり」などの演習を行うことにより、計算に慣れることができた。

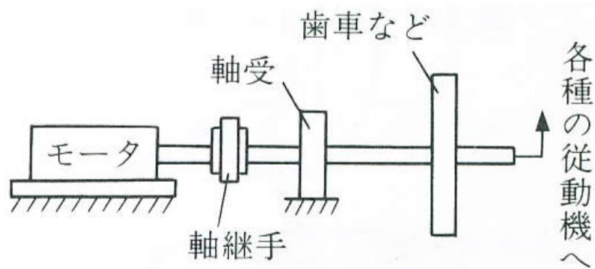


図5 伝動軸の説明¹⁾

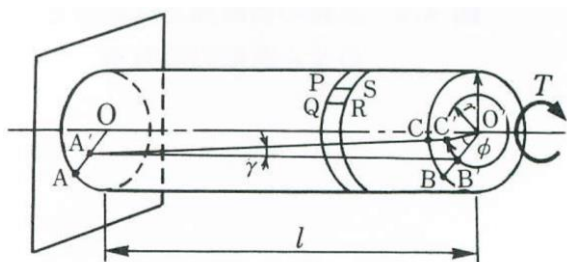


図5 トルクを受ける丸軸¹⁾

3.7. はりのせん断力・曲げモーメント

第10回目の授業内容を以下に示す。まず、はりについて説明する。はりには、一般的に荷重が軸に垂直に作用し、このような荷重は、小さくても大きな応力を生じさせる。はりが荷重を受けて変形場合、はりの内部には応力が生ずる。はりには大きく分けて、「片持ちはり」と「単純はり」の2種類がある。図7は、「片持ちはり」と「単純はり」を示している。

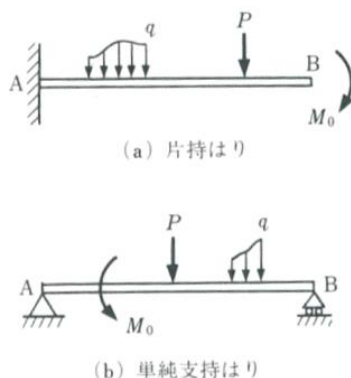


図7 片持ちはりと単純支持はり

「片持ちはり」は一端が固定で、他端が自由である。一方「単純はり」は、一端が回転自由で他端は移動可能な支点である。はりの支持点には、自由に並行移動可能な支点である移動支点、自由に回転可能な回転支点、平行移動も回転も不可能な固定支点がある。図8は、回転支点、移動支点、固定支点を示している。

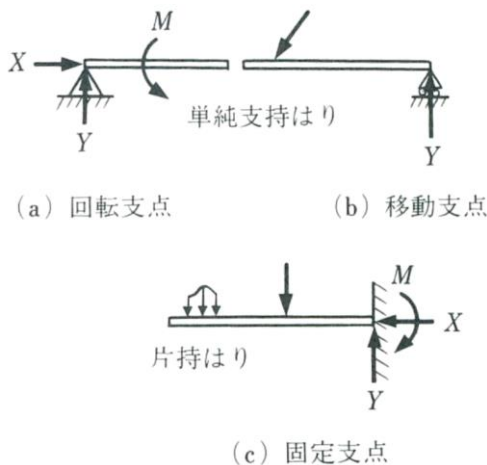


図8 回転支点・移動支点・固定支点

はり全体にせん断力と曲げモーメントがどのよ

うに分布しているかを正確に把握することは、機械設計では重要であるため、せん断力図と曲げモーメント図の作成に関する内容も扱った。授業では以下の演習を行うことにより、学生は、「片持はりの先端に集中荷重が作用するときの固定支点の反力」、「単純支持はりに集中荷重が作用するときの各支点到に生じる反力」、「単純支持はりに斜め方向から集中荷重が作用するときの各支点到に生じる反力」、「片持はりに等分布荷重が作用するときの固定支点到の生じる反力」、「片持はりの先端に集中荷重が作用する場合のせん断力図・曲げモーメント図」、「片持はりに等分布荷重が作用する場合のせん断力図・曲げモーメント図」、「単純支持はりに集中荷重が作用する場合のせん断力図・曲げモーメント図」、「単純支持はりに等分布荷重が作用する場合のせん断力図・曲げモーメント図」、「単純はりに2つの対称に集中荷重が作用する場合のせん断力図・曲げモーメント図」、「単純支持はりに等分布荷重が作用する場合のせん断力図・曲げモーメント図」、「単純支持はりの両端にモーメントが作用する場合のせん断力図・曲げモーメント図」、「突き出しはりに対称な集中荷重が作用する場合のせん断力図・曲げモーメント図」、などの演習を行うことにより、計算や作図に慣れるができた。

3.8. はりの曲げ応力・せん断応力

第11回目の授業内容を以下に示す。第10回目の授業で、はりに横荷重やモーメントが作用すると内部にせん断力や曲げモーメントが生ずることを学習した。ここで、せん断力からせん断応力、曲げモーメントから曲げ応力を求めることができる。一般にはりにおいては曲げ応力の方がせん断応力よりも大きいため、ここでは曲げ応力について扱う。以下の演習を行うことにより、学生は、「長方形断面の断面二次モーメントと断面係数」、「I型断面の断面二次モーメントと断面係数」などの演習を行うことにより、計算に慣れるができた。

3.9. はりのたわみ

第13回目の授業内容を以下に示す。はりが横荷重を受けると応力が発生し、これと同時に当然たわみ変形も生じる。強度設計において、はりの

たわみの計算方法は、発生応力を許容範囲に抑えたり、はりのたわみが規定された許容範囲になるように負荷を制限したり、断面の必要寸法を決定したりすることに利用可能である。変形後のはりがなす曲線をたわみ曲線という。また、たわみ曲線の接線がはりの長手方向となす角度をたわみ角ということを説明した。以下の演習を行うことにより、学生は「片持はりの先端に集中荷重 P が作用する場合」、「中空円形断面のポールに円盤のついた道路標識に風圧がかかる場合」、「片持はりに等分布荷重が作用する場合」、「断面積が等しい円形断面はりと長方形断面はりが全長に当分布荷重を受けた時の最大たわみの比較」、「片持はりの先端にモーメントが作用する場合」、「単純支持はりに当分布荷重が作用する場合」などの演習を行うことにより、計算に慣れるができた。

4. 材料力学と機械実験（演習）の関係

「材料力学」の授業内容は、「機械実験」（3年前期）において、その一部の内容を実習により確認している。図9は、様々な材料の応力-ひずみ曲線を示している。機械実験では、アムスラー型引張試験機を用いた鋼の破断試験を行っている。またインストロン型の小型試験機では、亜鉛メッキ鋼線と銅線、3Dプリンタで作製したABS樹脂製試料の3つについて、精密な引張試験を行っている。学生は、それぞれの試料の引張強さや応力-ひずみ曲線の様子、ヤング率を測定することにより、材料力学で扱った応力、ひずみ、ヤング率などのパラメータを実習により実際に導き出した。これらの実習を行うことにより、材料力学の知識の定着を図ることができた。

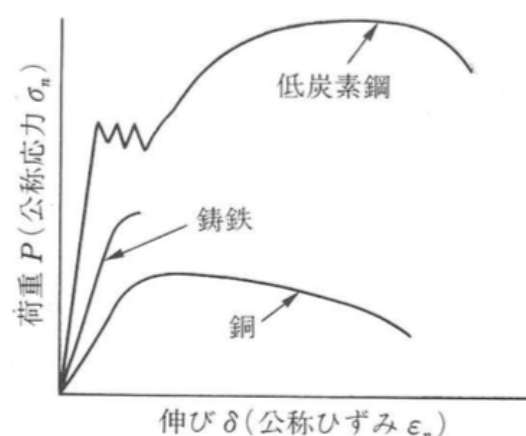


図9 様々な材料の応力-ひずみ曲線¹⁾

5. まとめと今後の予定

技術専攻の、2年後期の専門必修科目である「材料力学」の授業内容は、大学の機械工学科で行なわれている「材料力学」と同様である。しかし、機械工学の科目が少ないため、工学系の大学の機械工学科で行われているすべての授業内容を半期（15回の講義）の「材料力学」の授業で行うことは困難である。そのため、「材料力学」の授業では、やさしい内容の教科書を使用し、重要と考えられる部分のみで授業を行うとともに、演習の時間を多く設け、確実に内容が身につくような計画で授業を行っている。本授業では、材料力学の基礎的部分について、多くの演習を行うことにより計算に慣れさせ、授業内容を確実に定着させることができた。

今後授業内で毎回小テストを行い、学生の理解度の評価を行う予定である。

6. 参考文献

- 1) 中田 政之, 田中 基嗣, 吉田 啓史郎, 木田 外明: わかりやすい材料力学の基礎: 第2版, (2014), 共立出版社

(2016年 9月 19日受理)