

「ものづくり機械工学」のためのビデオ教材作成

工学部 田邊裕治

Preparation of Video Materials for the Lecture on Introduction to Mechanical and Production Engineering

Yuji Tanabe (Faculty of Engineering)

Preliminary lectures on deformation and fracture of solids are given to the students at the school of engineering during the first semester of their first year. These lectures are just the entrance to produce engineering materials and structures but show the essential aspects related to mechanics. It should be extremely difficult for the students to have real images of deformation and fracture of solids since no demonstration to clearly show such concrete phenomenon is given to them during the lectures. So, the video materials as the useful and helpful assistant to the lectures have been prepared. Tensile tests on mild carbon steel specimens with notches or cracks, uni-axial compression of cancellous bone with sophisticated trabecular structure, cyclic compression of model femur with artificial joint, and so on were chosen as the subjects of the materials. Finite element analysis was also performed to show its smartness and feasibility for the accurate simulations of these experiments.

Key words: Mechanics, Deformation and fracture, Video materials, Finite element analysis

1. はじめに

工学部機械システム工学科では一年次学生を対象として「機械工学序論」を平成10年度より第I期に開講した。本講義は「機械工学」という名称が付けられてはいるが、機械工学に初めて触れる学生に対して「ものづくり」の観点から機械工学全体を簡単に紹介する、きわめて教養科目的色彩の濃い内容がその特徴である（したがって機械工学を将来専攻しない学生にとっても有益と思われる）。近年では本学科へ入学してくる学生であっても、ものづくりの経験が乏しく（と思われる）、加えて現象や事象をイメージする能力も以前に比べると低下しているように思われる。したがって、これまでのように二年次以降に（学生にとってはおそらく唐突に）専門科目を個別に講義することは、それらが有機的に連携してものづくりのための実学を構成しているのだということを理解させるには至らなかったと思われる（実際に、二・三年次学生で機械工学序論を聴講した学生がおり、彼らは何故このような入門的な講義を早い年度か

ら実施してくれなかったのかと不満？あるいは好意的な？感想を持っていた）。その機械工学序論の内容に少し立ち入ると、一番最初に工業力学、機械力学や材料力学の話が出てくる。これらの力学は高校における物理学（力学）の自然な延長として大学入学初年度に講義をしても、学生が高校における学習とのギャップを感じることなく容易に理解してくれるものと信じていた。著者は機械工学序論における材料力学の部分と一年次II期から始まる専門科目の「材料力学」を担当しているが、期待に反して内容が難しいとの声が聴講学生の約半数から聞かれた。理由は扱っている問題が具体性に欠ける、式の羅列でつまらないが殆どであり、一部学生は問題に示されている図（きわめて簡単な機械図面のようなもの）が理解できないと訴える者もいた。「君らは機械系学科に入学したんだぞ。そんな簡単な図を理解できないでどうする。」と言いたい気持ちを押しさえて、これも現象を頭の中で想像する能力が落ちているせいだと考え、このイメージする力を養う良い方法につい

てあれこれと考えてみた。一番良い方法は実験を行って実体験させることであろう。しかし、50～100人の学生に対してしかも90分という時間の枠内ではその実現はおぼつかない。そこで次善の策として、(誰でも思い付くことではあるが)実験風景を撮影したビデオをできるだけたくさん見せて、現象を印象づけることを考えた。また、スマートな方法として実験に対応した数値シミュレーションの結果をカラーイラストで示せば、より興味を抱いてくれるのではないかと考え、教材になりうる資料集めを行うことにした。工学部の各講義室にはマルチメディアプレゼンテーション用の機器が設備されており、教材の呈示には効果ある種々の方法を試せることも教材作成を思い立った動機の一つであった。

2. 教材の内容

2.1 問題の所在

著者は前章でも述べたように「材料力学」の講義を担当している。材料力学は物体の変形と破壊を扱い、十分安全な強度を有する機械や構造物を設計することを目的としている。その内容は初等力学(力の釣合い)に基づいているため、専門科目という位置付けであっても大学初年度の学生にも十分理解できると考えられている。しかしながら、机上の空論とでもいうような問題が存在していると思われる。著者は次の二つの事例が該当すると考えている。

(その1)

現在、数えきれないほどの「材料力学」と題する教科書が出回っている。それをめくってみると応力やひずみの定義の説明に続いて、例外なく、軟鋼の引張試験により得られる(公称)応力-ひずみ曲線(図1)が出てくる。材料力学はこの実験特性を出発点として構築されているといっても過言ではなく、きわめて大切な実験的事実である。

「軟鋼の場合にはフックの法則が成立する線形域に続いて上、下降伏点が出現し、非常に(軟鋼にとって)特徴的です。これは機械工学を学んだ者

の常識です。」という説明をするものの、後の試験でこの曲線を書かせる問題を出すと約1/3の学生は描けないという状況に出会う。教科書では「実験により求める」とあるものの、実際は机上で、すなわち学生に記憶することを強制していることになる(二年後!の三年次に機械工学実験で引張試験を体験することにはなるが)。したがって、興味のない学生が描けないのも当然と考えられる。実験で体験すべき材料力学の基礎を強制的に覚えさせなければならないことは大きな矛盾であり第一の問題と考えられる。

(その2)

材料力学では機械構造物を設計する際に、形状を良く考えて応力集中源(切欠きやき裂)をできるだけ導入しないようにと教える。逆に、これらの切欠きやき裂があったらどれ位危険なのか(応力がどの程度になるか)を応力集中係数(切欠きの場合)や応力拡大係数(き裂の場合)という数値により説明する。しかしながら、これらの数値は材料力学では「天下りの」に与えられている。例えば無限の広さの板に円孔がある場合の応力集中係数は3であり、有限の広さの幅を持つ板では3より小さくなるといった具合である。き裂の場合にはき裂の先端で応力が無限大になる(弾性変形のみを考えた場合。実際には塑性変形等が介在するので無限大にはならない)。これらの数値は材料力学より高度な「弾性力学」や「破壊力学」により求められるが、残念ながら現在当学科ではこれらの講義は開講されていない。したがって、切欠きを作らないようにと言われても学生にとっては「天下りの数値」を記憶する以外の術を知らず、実際にどれくらい危険なのかは決して体験できないのである。これらの学生が卒業して機械設計に携わることを想像するとそら恐ろしい。これが第二の大きな問題と考えられる。

2.2 例題の設定

前節の問題は実験(それができなければせめて数値解析)によって解決すべきと考えている。し

かしながら、現状ではそれがかなわないことから、学生に疑似体験させるべく、実験のビデオおよび数値解析結果のイラストをせめて示そうと考えた。そこで(1)軟鋼の平滑材の引張試験（応力-ひずみ曲線の測定法を示すため）、(2)軟鋼の切欠き材とき裂材の引張試験（切欠きやき裂があると本当に強度が低下するかどうかを示すため）を行い（図2）、試験片の変形過程をビデオにおさめた。またシミュレーションによってもこれらの変形過程を再現できることを示すため有限要素解析（ANSYS Ver.5.3を使用）も併せて行うこととした。さらに、変形と破壊現象について興味を持ってもらうために、当研究室で卒業研究のテーマとして行っている海綿骨の一軸圧縮試験、人工股関節置換術を模擬した人工骨モデルの繰り返し圧縮試験についてもその風景をビデオ撮影した。

3. まとめ

大学入学初年度に講義する専門科目の機械工学序論および材料力学では物体の変形と破壊について取り扱う。これらの科目は実学であるにもかかわらず、実験を伴わないために、講義のみでは変形という具体的な現象のイメージを学生に持たせることはきわめて困難である。そこで視覚的な印象付けを意図したビデオ教材づくりを行った。これまでに、切欠きやき裂などの応力集中源を付与した鋼材試験片の引張変形および破壊、骨梁構造を有する海綿骨の一軸圧縮破壊、人工股関節置換術を模擬した人工骨モデルの繰り返し圧縮荷重下での変形等をビデオ撮影するとともに、有限要素法によって鋼材試験片の引張変形をシミュレーションした。現在、これらを整理してアニメーション化すべく努力している。完全に整理された形でも、新年度から講義の補助教材として試用し、学生の反応を見たいと思っている。ただ問題として、例えば鋼材の引張試験の場合には、実験風景をビデオ撮影しただけでは、単に円孔が広がる、き裂が伸びるといえることが見られるだけで、肝心な実際の応力やひずみがどのように分布しているかについて示すことが出来ない。実験によって

視覚的にひずみ分布が捉えられる（例えば光弾性法など。以前は三年次の学生実験で実施されていたが、現在は残念ながら器材の老朽化と時間の制約のため行われていない。）方法も導入して、より完成度の高い教材づくりを今後も行っていきたいと考えている。

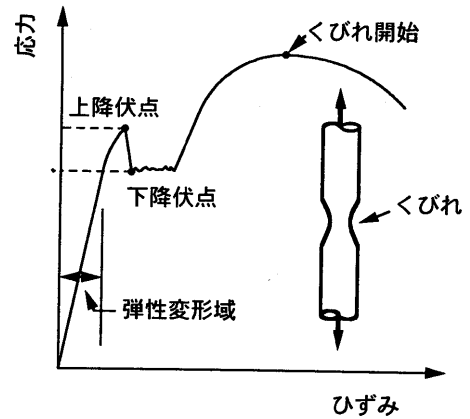
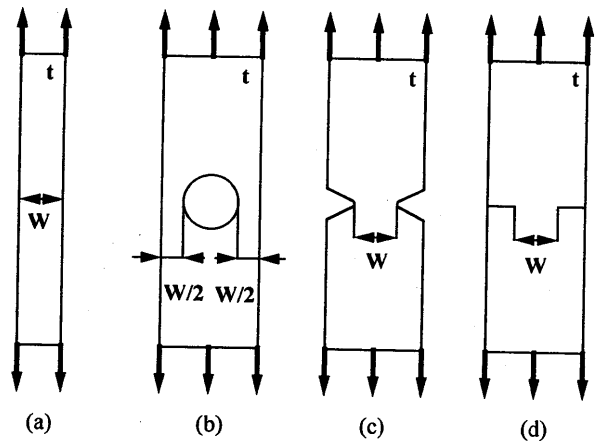


図1 軟鋼製の丸棒を引っ張った場合に得られる公称応力-ひずみ線図



※最小断面部の正味の横断面積($t \times W$)はすべて等しい。

図2 引張試験片の形状：(a)平滑材、(b)円孔を持つ板、(c)V型切欠きを持つ板、(d)き裂を持つ板