

## 材料力学演習におけるドールモデルを用いた力学的直感の養成

機械システム工学科 森 和也, 徳臣 佐衣子, 川島 芙美子

### 1. 緒 言

モノづくりは何らかの機能を発現するモノを作ることが目的である。では、大学生のモノづくりと小学生のモノづくりの違いはなんだろうか？教員の立場からは、大学生のモノづくりは将来的な技術者の足がかりになることを期待する。技術者がモノづくりで考慮すべきことは、機能はもちろんであるが、安全性と経済性がある。この安全性と経済性こそが、大学生のモノづくりと小学生のモノづくりとの違いであろう。

モノの安全性には、物理的な安全性、化学的な安全性、その他精神的性などがあるであろう。ここでは、力学的な安全性について考える。モノの力学的な安全性の第一は壊れない安全性である。モノが壊れないということを保証するためには、モノに作用する無理とモノ自体の抵抗を知らなければならない。つまり、完成された状態のモノの各部材に作用する応力（無理）と各部材の耐力（抵抗）を知らなければならない。

この無理を導く学問が材料力学である。また、抵抗を導く学問が材料学である。従って、大学生のモノづくりは材料力学と材料学なしでは成り立たない。もし、材料力学や材料学を考慮しないモノづくりであれば、それは小学生の工作とかわりない。

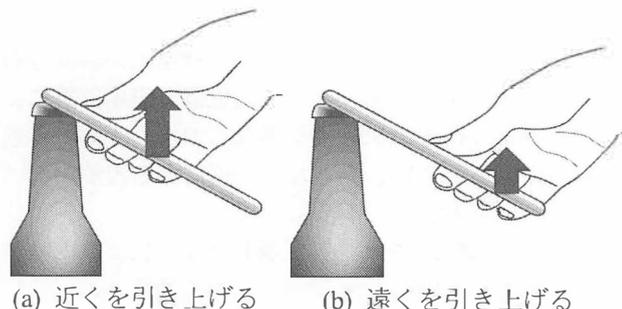
さて、一般的な材料力学は、はりや棒など細長いものの単体やその組み合わせられた構造の応力や変形を求めることに用いられる。そこでは、微分方程式が基礎となり、かなり煩雑な数式処理が必要となることがしばしばある。

しかしながら、モノの力学的な安全性を考えるとき、この複雑な数式処理よりも重要なことがある。それは力学的な直感である。はりや棒あるいはその組み合わせられたものに作用する力がどのようなものであるかを直感的に理解することが重要なのである。

本論文では、ドールモデルを用いて、この力学的な直感を養成するプロジェクトを紹介する。

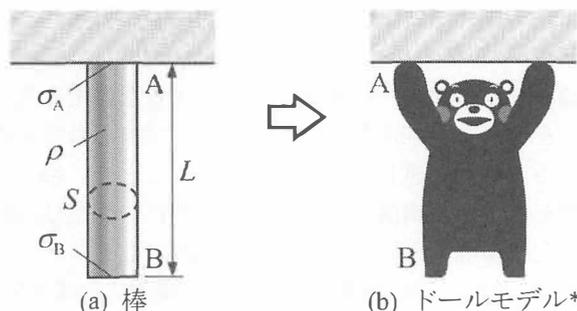
### 2. プロジェクトの始まり

力学的な直感は日常な生活から得られるものである。子供ころの遊びやスポーツ、家事などで力学的感覚は養われる。図1は、瓶の栓を、栓抜きを用いて開けるようすを示している。力学的な釣り合いの方程式を解くまでもなく、経験的に栓よりも遠い部分を引上げた方が、力が少なくて済むことが感覚的にわかる。



(a) 近くを引き上げる (b) 遠くを引き上げる

図1 栓を抜く力の大きさ



(a) 棒 (b) ドールモデル\*

図2 天井にぶら下がる自重の問題

(\*くまモンオフィシャルホームページ <https://kumamon-official.jp/>)

しかしながら、最近の学生はこの直感的な感覚が怪しい。図2(a)の天井から吊るされた棒の応力を学生に問うてみた。天井から吊り下げられている長さ $L$ 、断面積 $S$ 、密度 $\rho$ の棒である。この棒の上部AとBにおける応力 $\sigma_A$ と $\sigma_B$ を求める問題は、材料力学の基本である。

少なからずの学生が、 $\sigma_A = 0$ 、 $\sigma_B = \rho g L$ 、と答えた（ここで $g$ は重力加速度）。この解答は、ぶら下がっている棒が台に置かれている応力状態と同じであることを示している。

このような解答を出した背景はなんだろうか？恐らく、自重と言うものは鉛直下向きに作用するものであって、その結果応力はどのような状態でも棒の下部が最大となるものである、と考えたと思われる。この問題を物体の釣り合いから説明することは簡単であるが、単なる数式処理に留まり、なぜ上部の応力が最大になるのかを本質的に理解させることは難しい。そこで、教材としてドールモデルを用いるプロジェクトを開始するに至った。

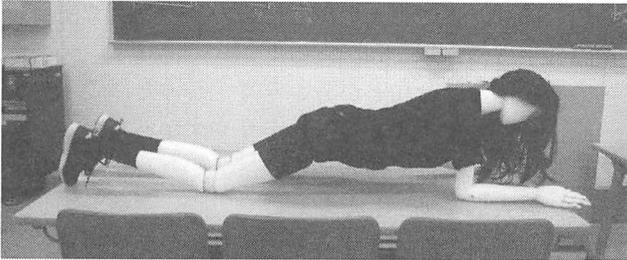
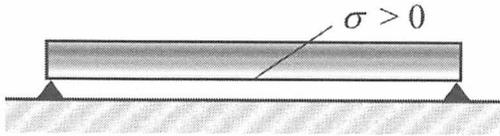


図3 両端単純支持のはり

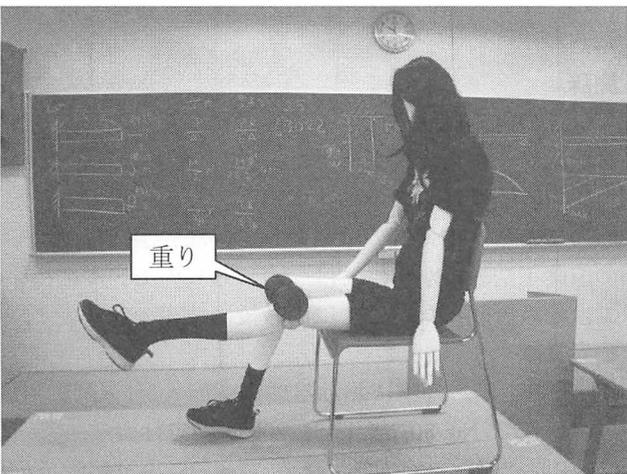
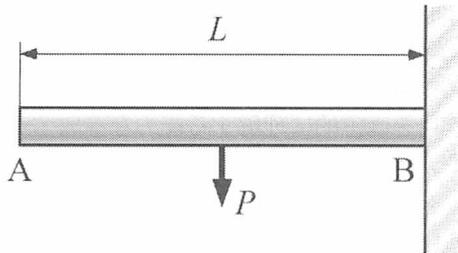


図4 片持ちはり

### 3. ドールモデル

図2(b)は棒をドールモデルに置き換えたものである。ドールモデルを用いる目的は、ドールが感じる無理を学生が疑似体験することによって、棒に作用する力を体感することである。自分が天井にぶら下がっていると思いつかべたとき、支えている手に一番力が働くことは容易に想像される。つまり、材料をドールに置き換えて疑似体験すれば、材料に作用する力は簡単

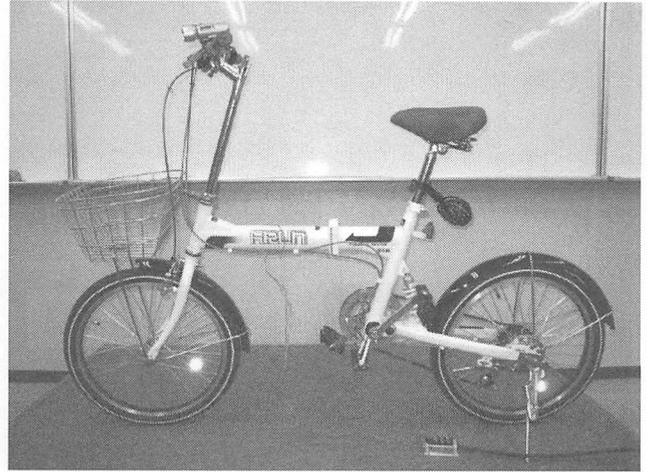


図5 自転車を用いた定量的解析



図6 ひずみゲージを用いたひずみ測定部

に理解されるのである。

さらに、効果的に擬似的体感するためには、ドールモデルはリアリティーが高い方がよい。ドールモデルが人に似れば似るほど、疑似体験し易いからである。そこで、このプロジェクトではドールモデルとして原寸大のマネキンを用いることとした。また、手や脚の関節が自由に動く、球体関節<sup>(1)</sup>のマネキンを用いた。

図3は両端単純支持のはりの例である。はりの中央下部に引張り応力が作用することは ( $\sigma > 0$ )、同じポーズをドールに取らせると、腹筋に力があるであろうことが直感的に理解され、 $\sigma > 0$ が直感的にわかる。

図4は片持ちはりの例である。重りの位置によって、各点に作用する曲げモーメントの大きさが変化するのが理解される。

### 4. 定量的な解析モデル

ドールモデルを用いることによって、はりや棒あるいはその組み合わせられたものの定性的な無理の直感的把握が可能になった。次のステップは、材料力学本来

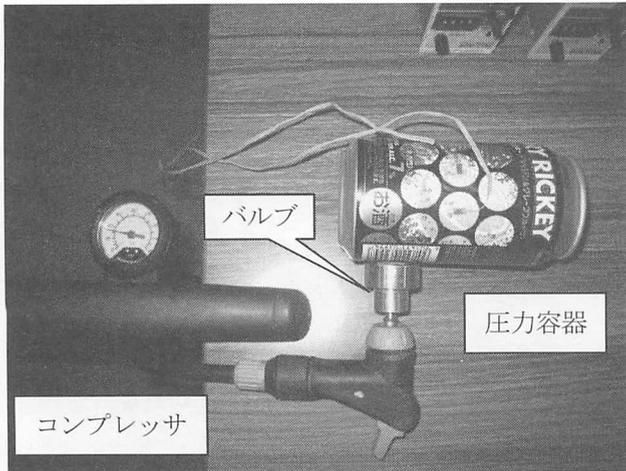


図7 圧力容器のモデル

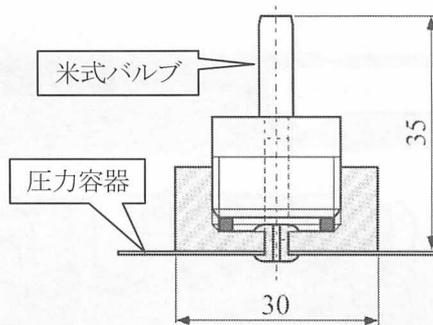


図8 バルブ

の定量的解析である。定量的解析のモデルは、基本的な材料力学を用いて解析可能な形状である必要がある。そこで、図5に示すに、自転車を解析モデルとした。解析対象はフレームである。一般的な自転車のフレームはラーメン構造<sup>(2)</sup>のため解析が難しい。また、ラーメン構造を解析しても、解析された結果と実測値の間に隔たりがあることがある。そこで、本プロジェクトでは一本のフレームの自転車を採用した。

図6は、フレームの上下のひずみを測定する部分の拡大図である。フレームが一本であるため、搭乗者の重量および車重のバランスから直ちにフレームに作用する曲げモーメントが測定され、精度の高い解析が可能になる。学生の解析した結果と実測値を比較して、材料力学の有効性を確認できる。

材料力学のテキストの大部分は、はりや棒とその組み合わせられたものの解析に費やされている。その他の解析対象としては圧力容器がある。ガスや水道などに利用される圧力容器は身近に有り、強度評価が欠かせないからである。そこで、図7に示すような圧力容器のモデルについても開発した。

図7中の開発部分はバルブの部分である。直径4mmの穴を容器に開けてバルブを取り付けると、米式自転

車用コンプレッサのバルブが取り付けられるようになっている。そのため、圧力容器は取替え可能で、形状が円筒形や球形、直径が異なる圧力容器に取替が可能である。圧力容器に作用する応力も材料力学で精度の高い解析が可能で、学生の学習意欲の向上に一役買っている。図8にバルブ部の図面を示している。

## 5. アンケート結果

ここには、ドールモデルを材料力学の講義で使用した際の学生の感想を列記する。

- ・力のかかる部分などが分かりやすかった。
- ・筋トレにたとえてあってわかりやすかった。
- ・足をはりに見たてて考えるのは分かりやすかった。
- ・生徒も人形を動かしたりして 実際に生徒も同じ動きを試みたりするとわかりやすいと思う。
- ・すごくわかりやすかったです。自分の体をつかって、さらに材力の考え方を深めていきたいです。
- ・両手を前に出させて、そこに提出物を集めれば良いと思います。

## 6. 結 言

力の作用を直感的に理解する能力を養成する目的で、ドールモデルを利用するプロジェクトを開発した。このモデルを用いると、定性的ではあるが、直ちにはりや棒あるいはその組み合わせられたものに作用する力が把握できる。

また、定量的な解析対象として、自転車をを用いたモデル、圧力容器のモデルを用いた授業改善にも取り組んだ。

## 謝辞

この試みは熊本大学工学部附属革新ものづくり教育センターから支援を受けた。ここに感謝の意を表す。

圧力容器は長崎大学の才本明秀教授から提案されたものである。本報告では紹介していないが、福岡大学の遠藤正浩教授からは、はりのねじりのモデルについてはご教授賜った。ここに両教授に感謝の意を表す。

## 参考文献

- (1) 田中圭子, 日本における球体関節人形の系譜, 社会科学, No. 80, pp. 43-58, 2008, 同志社大学.
- (2) 中原一郎, 材料力学, 上巻, pp. 28-29, 1965, 養賢堂.