

第8話 なぜそのように曲がるのですか

2007年10月30日 作成

萩原芳彦

図1(a)(b)のように、針金ADを2箇所B、Cで直角に折り曲げた形にする。このような針金の一端Aを固定し、他端Dに図の向きの外力 P を作用させる。この図を示した上で、「針金が弾性変形するものとして、針金はどのように変形をするか。変形状態がわかるようにやや誇張して図を描きなさい。」と初学者に問うと、正解者もいるものの、かなりの学生が予想外の図を描く。

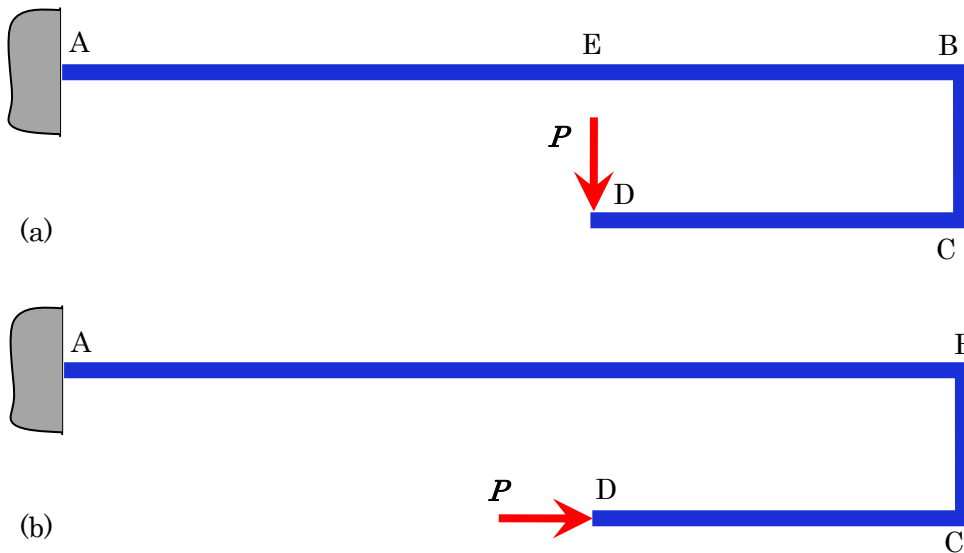


図1

この場合の弾性変形状態を有限要素法により解析し、その形を誇張して示せば図2のようになる。図1(a)の場合は図2aに示すように、AE間では上に凸に変形し、EB間では下に凸に変形する。BC間は左に凸に変形し、CD間は上に凸に変形する。図に示した色は最大の垂直応力の分布であり、赤い方が高い値を示している。

一方、図1(b)の場合にはAB間はすべて下に凸に変形する。BC間は図(a)と同じように左に凸に変形し、CD間は曲げ変形せず、変形後も直線となっている。図は変形を誇張しているので奇異に感ずるかもしれないが、微小変形を基本としている初等材料力学で考えた場合にはこのようになる。しかし、図の変形が誇張ではなく実際にこの程度の弾性変形をするのであれば、図2(b)からわかるように外力 P の作用によりCD間にも曲げモーメントが生ずることになり、CD間も上に凸の変形を起こすことになる。その場合の解析は大変形の

問題として有限要素法で可能であるが、今回の解析に比べて解析時間はかかる。また、直角に曲げられた箇所は連続性から変形後も直角のままでなければならないことも注目点である。なお、この例の場合、針金は曲がるだけでなく伸縮する部分もあるが、その程度は曲げ変形に比べると無視できる程度である。

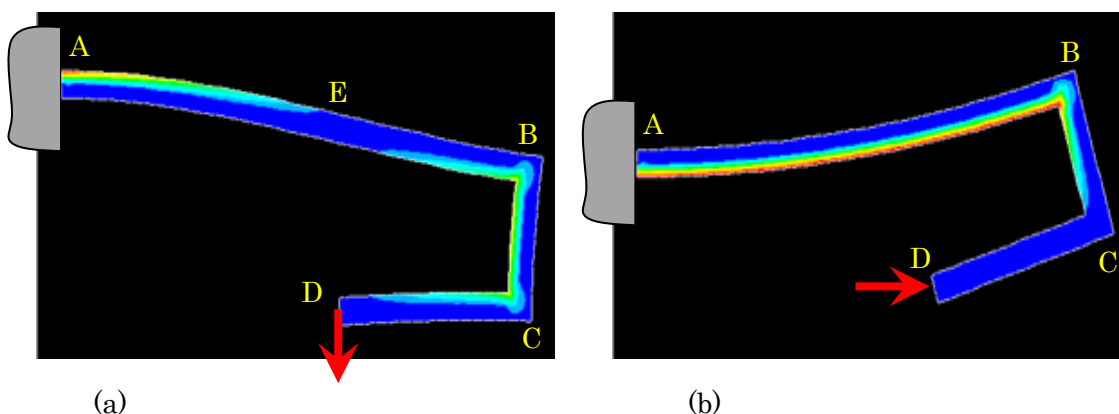


図2 有限要素法による解析の変形誇張例

このような変形となることは解析を行わなくても、各場所に**曲げモーメント**が存在するか、存在するのであれば下に凸の曲げ変形を起こさせるか、上に凸の曲げ変形を起こさせるのかなどを考えることで概略の変形図を描くことができる。また、日常生活においてもものに触れ、力を加える経験を積んでいれば想像によって感じをつかむこともできるのである。しかし、初学者の回答結果は予想外のものであり、びっくり仰天なのである。

図3は学生の回答した例である。正解もあるものの、図2(b)のCD部分のことを考慮して比較しても実際問題に対しての感覚について考えさせられるところが多々見受けられる。AB間の曲げ変形がまったく起きない、あるいはEB間しか変形しないと考える学生がかなりいることは、曲げモーメント、あるいは力のモーメントに対する認識が正確ではないことの現れであろうか。

図4は別の機会に出題した例である。正しく描かれている部分もあるが、図3での過ちと同類のものほかに随所に基本的な誤りがみられる。厳密に見れば他にもおかしなところがあるが、赤線で囲った部分はその主な箇所である。支点ではなく自由に移動できる箇所がたわんでいない例、支点が固定支点でも回転支点でも変形は同じである例、曲げモーメントが明らかに零でない箇所が変形していない例、など基本を正しく理解できていない学生が多く見られる。

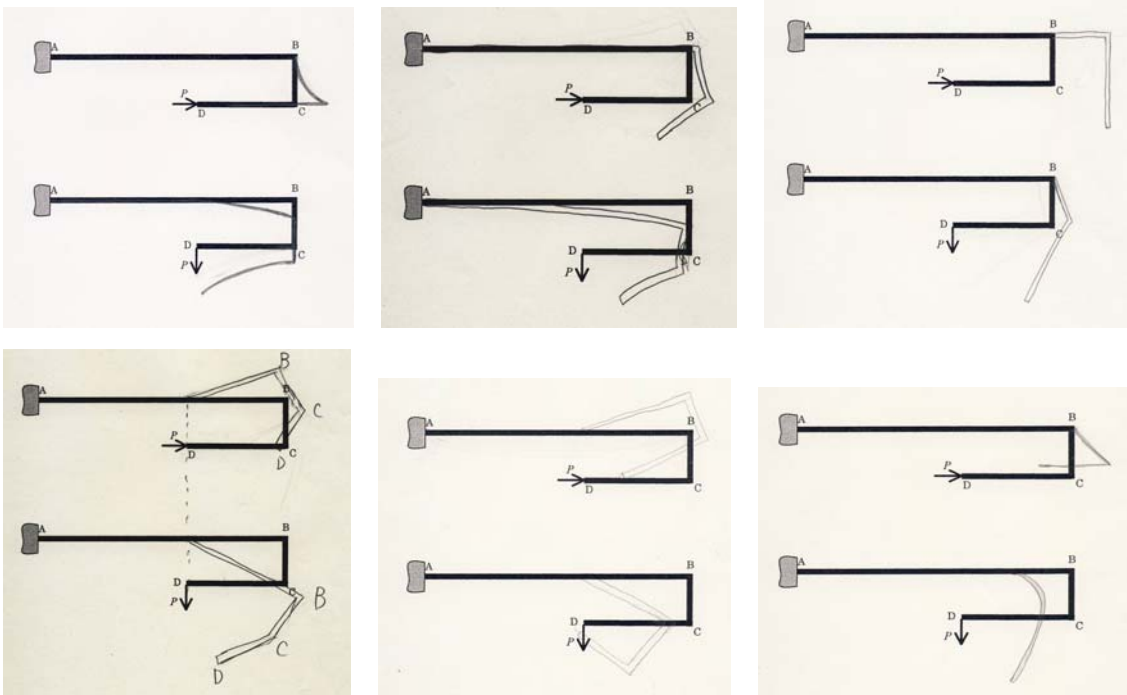
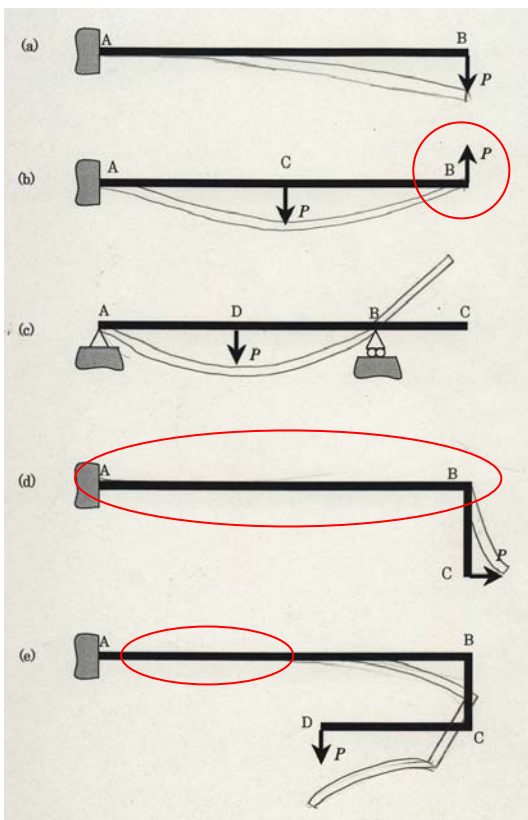
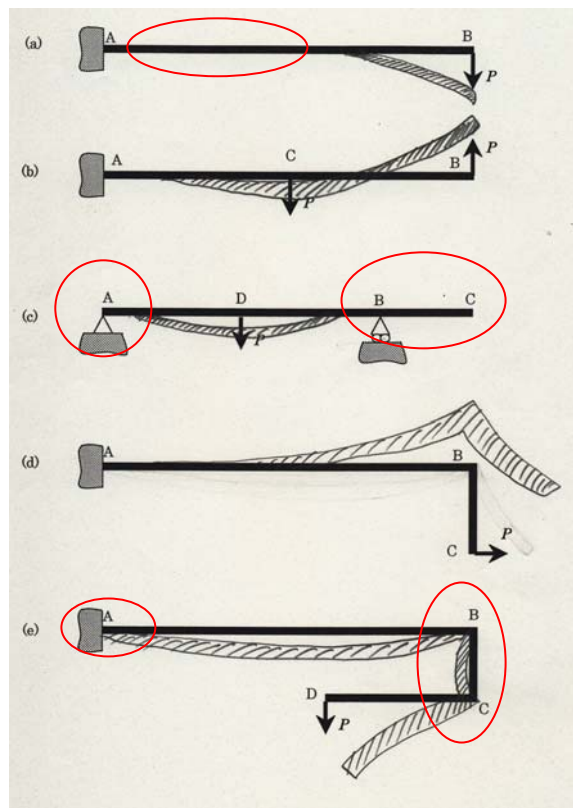


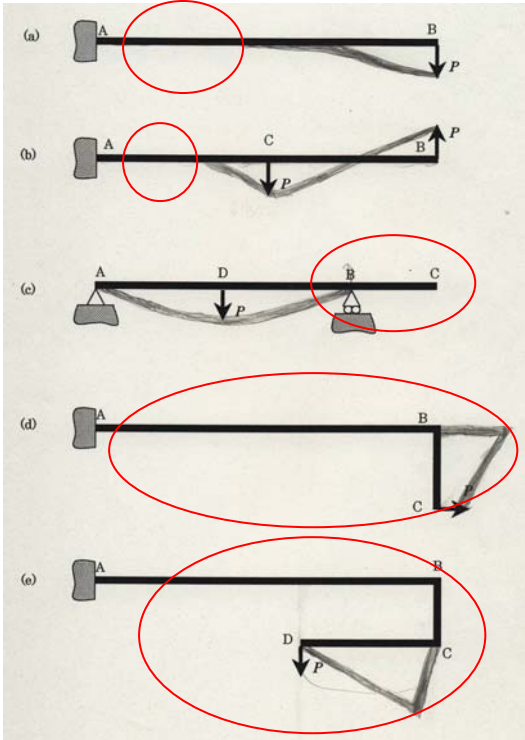
図3 学生の誤回答例



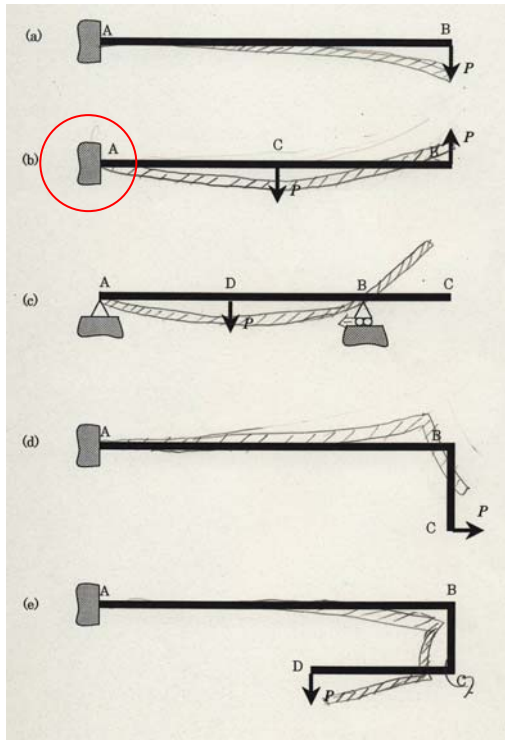
(a)



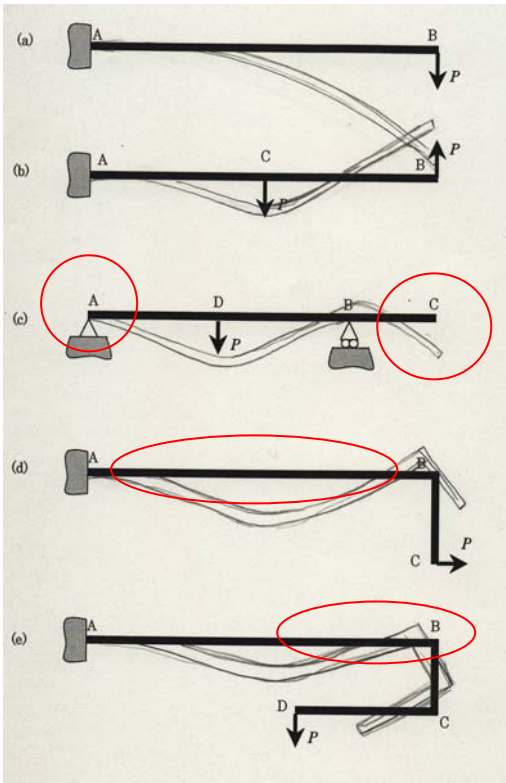
(b)



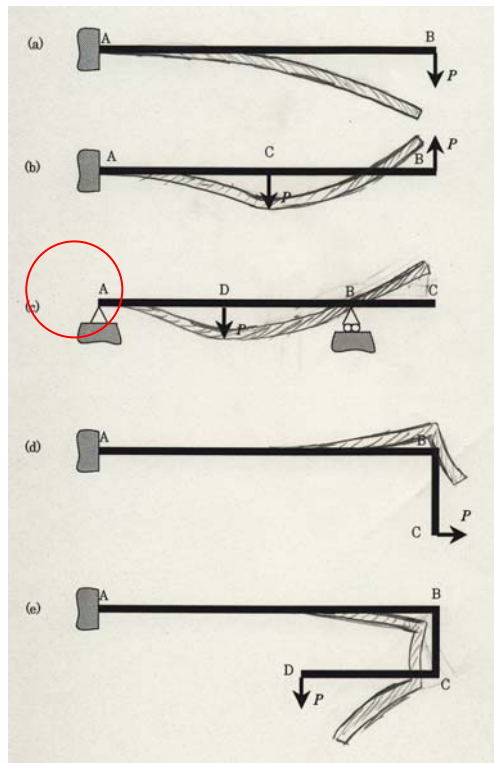
(c)



(d)



(e)



(f)

図4 その他の事例に対する回答例

40年近く材料力学を教えていたにもかかわらず、このことに気づいたのはうかつなことにごく数年前である。もうだいぶ以前から小中学校での理科離れや実験教育の減少が言われていたのであるからもっと前から気づき、第1話で説明した張力の問題のように調査を行い、授業に反映させればよかったと思うが、後の祭りである。そこで、数年前から本ホームページに「描きながら考える材料力学」として、棒の変形問題をいくつか掲載するようになった。

工学の問題においては実際に経験や体験、あるいは実験を積み重ねながら学ぶことは重要である。ここでも利用してしまったが、初学者にはコンピュータによる有限要素法解析やシミュレーションなどに頼らず、簡単にできる実験などを自ら実行することを勧める。図5(a)のようなクリーニング店で見かけるハンガーの直線部分を切断し、図(b)のような曲げ実験を行うなど、手軽にできる実験はいろいろある。試すとよいであろう。



図5 針金でできたハンガー素材、フィルム容器、クリップ、100円玉を利用した曲げの弾性実験

余談であるが、ここで扱ったことと同じように、若者の実体験の少なさに関連したことで、二、三十年前にニュースとなった話がある。それは、ある大学で学生に鶏の絵を描かせたところ、4本足の鶏を描く学生が何人か居たということである。このことをふと思い出し、インターネットで「鶏」、「4本足」で検索をかけたところ、地球環境悪化の影響か、最近では4本足の鶏やアヒルが生まれることがかなりあるようである。またまた驚いてしまった。