

第3話 ゴムの変形の不思議

2007年9月20日 作成

萩原芳彦

金属材料を引張った場合、おおむね図1のように、引張り力 P が小さい場合、加えた力と物体の伸び量 λ との関係は直線を示し（OA間）、**フックの法則**が成り立つ。その後は曲線状態となり、最大値を越えた後にD点で破断する。材料によってはBCDに至る前に破断する場合もあり、軟鋼材料のように明瞭な降伏点を示して**塑性変形**するものもある。

A点程度以下の力を加えた後、力を減少させると負荷時のOA線上を逆にたどりながら伸び量は減少し、O点に戻る。すなわち元の形に戻る。この性質を**弾性**と呼ぶ。なお、A点よりも大きな伸びが生じた後、たとえばB点から除荷した場合にはOAにほぼ平行に伸び量も減少し、負荷する力が零のときにE点になる。すなわち、OE分の永久伸び（塑性変形）が残る（実際の物体の変形挙動の詳細は他書に譲るが、「よくわかる破壊力学」、4章1, 2節にも要約してある）。

なお、図1では見やすくするため、OA部における伸び量の全体の中で占める割合がかなり大きく描かれているが、たとえば鋼の場合、A点での伸び量は1mの棒で2mm程度であり、塑性変形後C点に達するまでの伸び量やD点で破断するまでの伸び量に比べると無視できる程度に小さい量である。一般に金属材料は展延性に富み、多くの場合、図1のような挙動を示すが、例外もある。実際に利用する場合には個々の材料の性質を正確に把握することは必要である。

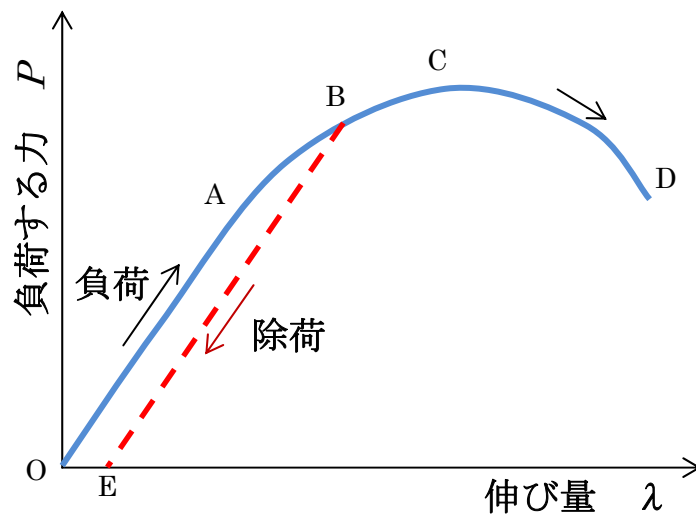


図1

初等材料力学は、物体に作用する力と変形の関係が比例関係にある場合（図1のOA部分）、すなわち**フックの法則**が成り立つ、変形が微小である場合を主として扱っており、この範囲では物体は通常弾性体とみなしてよい。

このような微小変形状態での弾性を鉄鋼材料などでは簡単に目で見ることができないため、変形が目で見えてわかりやすい**ゴム**を使って説明することがある。しかし、ゴムは金属とはかなり異なる弾性変形挙動をとる。第1、2話で輪ゴムを例として力と変形の間を説明したので、誤解をしないよう、念のためにゴムの力学的性質を説明しておこう。

図2は典型的なゴムに作用する力と伸びの関係を示すものである。力を増加させるとゴムの伸びはOABCDに示す曲線に沿って増加する。図1のOA部のように直線となる部分は認められない。しかし、極端に引き伸ばさない限り、力を除荷すると元の形に戻る**弾性**を示す。ただし、ゴムは金属材料などと異なる挙動をとりながら元の形に戻る。すなわち、除荷時の経路は負荷時の経路OABCの逆ではなく、例えばC点から力を減少させると、点線CEFのように荷重上昇時の曲線とは異なる経路をたどりながら縮み、元に戻る。そこで、**ゴム弾性**と呼び、区別している。

C点での伸び（ひずみ）が大きい場合にはF点はO点に一致せず、肉眼でわかる程度のOF分の伸びが残ることがある。しかし、極端に引き伸ばしたものでない限り、この残留伸びは時間がたつとほぼ零になる。日常よく見かけるプラスチックのような高分子材料も温度条件によってはこのようなゴム弾性を示す。

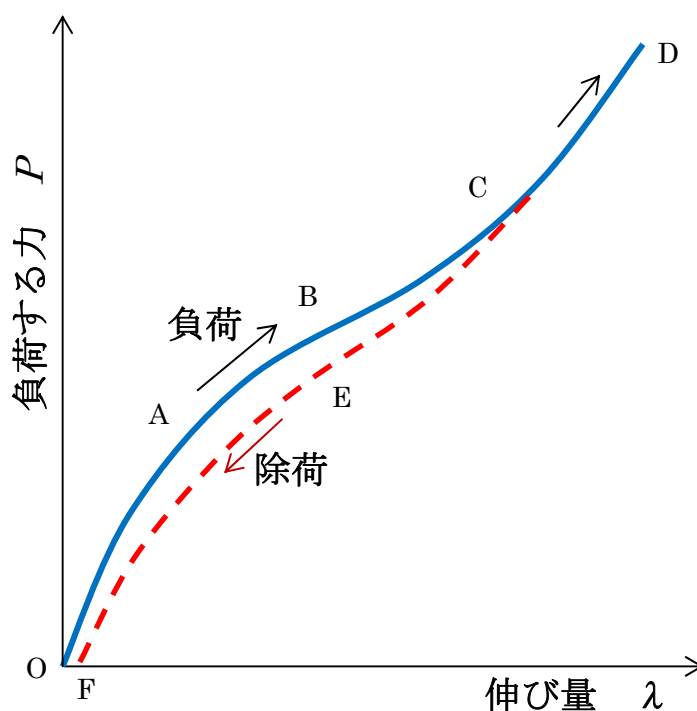


図2

図 3(a),(b)は、図 4 のような輪ゴム、写真のフィルム容器、クリップ、100 円玉を用い、輪ゴムにかかる荷重と伸びの関係を実際に求めたグラフである。輪ゴムは一般によく見かける全長（周の長さ）約 120mm、断面積約 1 mm^2 のものを用いた。ちなみに 100 円玉 1 つの質量は 4.8 グラムであるので、フィルム容器、クリップ、ゴムの自重を無視した場合、図 4 (a)の最大荷重時における変形前の断面積を基にした公称応力は約 1.4MPa となる。

このように荷重増加時と減少時で異なる経路をとるため、弾性を有するものの、ばねばかりには使えないことなども理解できるであろう。機械・構造物の強度計算においてフックの法則が成り立つ弾性体とみなして力学計算を行うことは問題ないが、どのような材料でも弾性体はフックの法則に従うものと単純に判断しないことが肝要である。なお、時間が経過すると元に戻る挙動は金属材料でも認められており、**弾性余効**と呼ばれる。このように、実際の材料の挙動は複雑であり、単純ではないことも頭の片隅に留めて置くことは必要である。

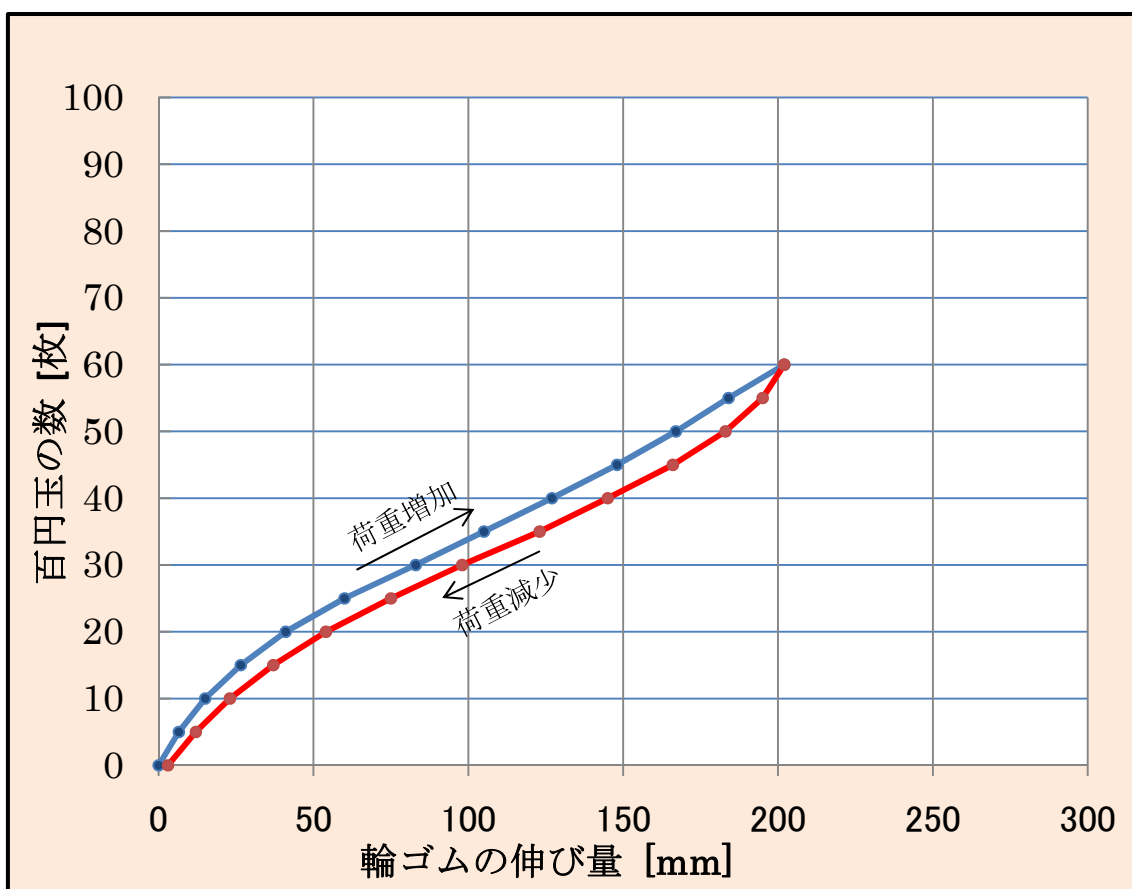


図 3 (a) 輪ゴムの伸縮実験（伸び量が比較的小さい場合）

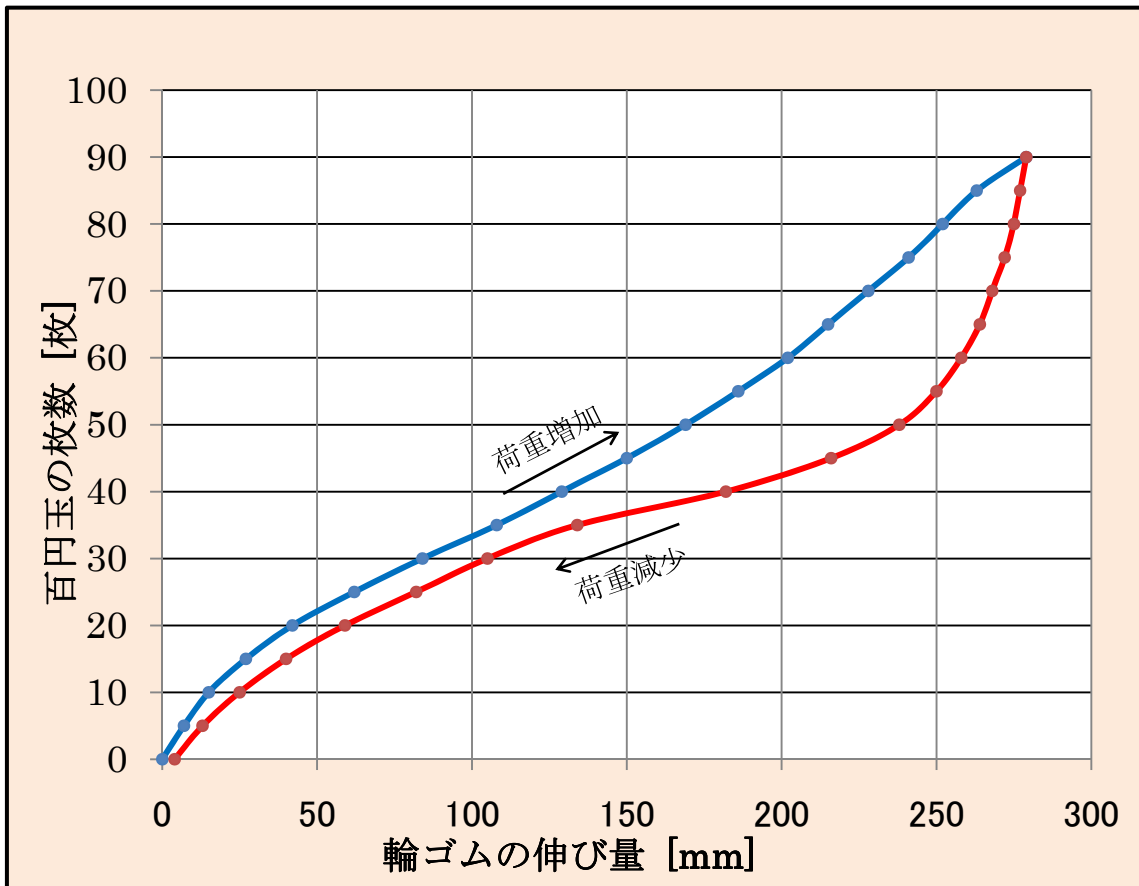


図 3 (b) 輪ゴムの伸縮実験 (伸び量が比較的大きい場合)

ちなみに 1 円玉は 1 グラム、5 円玉は 3.75 グラム、10 円玉は 4.5 グラム、50 円玉は 4 グラム、100 円玉は 4.8 グラム、500 円玉は 7 グラムであり、いずれもフィルム容器に入れることができる (<http://www.mint.go.jp/kids/know05.html>)。いろいろな条件でゴムを引張り、その変形状態を自分で確かめてみるのもよいであろう。



(a)無負荷時 (b)100円玉60枚のとき

図4 輪ゴムの伸びの実験