

第1章

構造体と力学の 関係

構造体を設計、製造する場合、その使用期間中にどのような力が構造体に作用するのかを想定し、想定した力に対して構造体が壊れることなく、その機能・性能を十分に発揮するよう考えなければならない。そのためには、まず力とは何か、構造体に力が作用するとはどういうことかを知る必要がある。

本章では、ニュートンの運動の法則や弾性材料に関するフックの法則などから力の本質を学ぶ。また、構造体に作用する目に見えない力の表し方や、力の合成、分解といった力の特徴を学び、そして、力のつり合いについて理解することにする。

1-1 ● 静力学と動力学

静力学【statics】と動力学【dynamics】は、力と平衡（静止）、力と運動の関係について論ずる学問である。静力学では、運動量【momentum】の変化が無視できるような静止した構造体を取り扱い、動力学では、運動量の変化を伴う構造体を取り扱う。構造力学は、主に静力学を基礎とする学問であるが、最初に、静力学と動力学がそれぞれどのようなものであるのかについて、ニュートンの運動の法則やフックの法則といった力学の基礎法則から説明する。

(1) 静力学

図1-1に示すような質量【mass】 m (kg) の鋼材 A が、天井クレーンにより、地表から吊り上げられて静止したとする。この状態のままにしておくと、鋼材 A はいつまでも静止し続ける。これは、「外部から力が作用しない場合、あるいはいくつかの力が作用してもそれらが釣り合っている場合には、静止している物体は静止を続け、運動している物体は等速直線運動を続ける」という慣性の法則【law of inertia】（ニュートンの第一法則【Newton's first law of motion】）によるものである。慣性の法則は、後に述べる運動の法則（ニュートンの第二法則【Newton's second law of motion】）と作用・反作用の法則【law of reciprocal actions】（ニュートンの第三法則【Newton's third law of motion】）と合わせて、ニュートン（イギリス）が発見した運動の基本法則である。1687年に、かの有名な著書『プリンキピア』の中で発表している。

図1-1の鋼材 A には、地球の重力加速度 g (m/s^2) の影響により、重力【gravity】 $m \cdot g$ (N) の力が下向きに作用している。力が作用しているにもかかわらず、鋼材 A が静止しつづける理由は、ワイヤロープが $m \cdot g$ (N) の力で鋼材 A を上向きに引っ張っているためである。これ

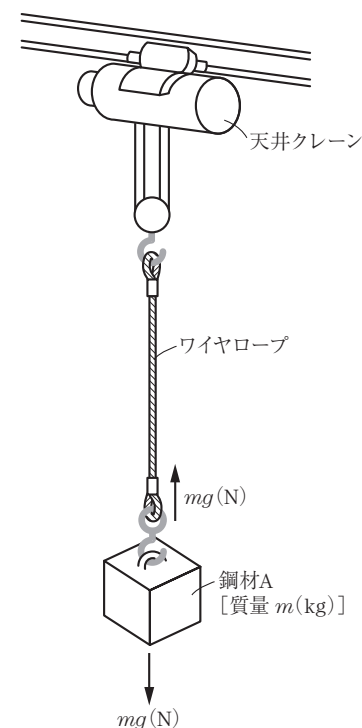


図1-1 天井クレーンにより吊り上げられた鋼材

は、「物体に力が作用すると、その物体には必ず同じ作用線上で大きさが等しく、向きが反対の力が作用する」という作用・反作用の法則に従うものである。

次に、ワイヤロープに焦点をあて、重力 $m \cdot g$ (N) の力がワイヤロープにどのような影響を与えているのかについて考える。図1-2に示すように、ワイヤロープをよく観察すると、ワイヤロープが地表から吊り上げられる前の長さ比べて、伸びていることが分かる。重力を F 、ワイヤロープの伸びを Δx とおくと、次式で表される。

$$F = k \cdot \Delta x \quad (1-1)$$

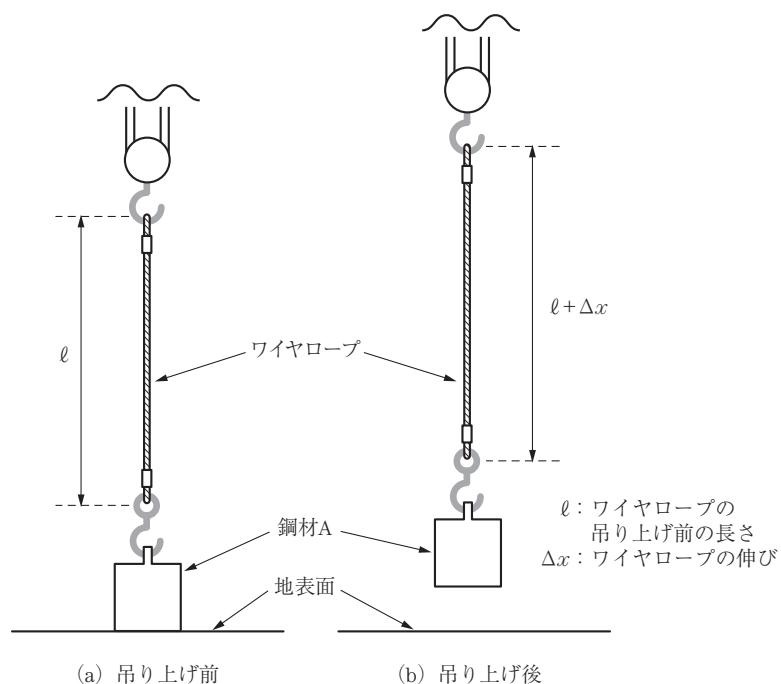


図1-2 吊り上げ前後のワイヤロープの長さ

ここで、 k はばね定数【spring constant】であり、材料固有の定数である。式(1-1)の関係は、線形弾性材料【linear elastic material】に関するフックの法則【Hooke's law】と呼ばれている。1678年に、イギリスの物理学者 Robert Hooke が最初に発見した法則であり、「ばねのような物体にかかる力は伸びに比例する」と説明している。これがその後の構造力学の発展の礎となった。なお、図1-2では、吊り上げられた鋼材 A も $m \cdot g$ (N) の力でワイヤロープにより引っ張られている。フックの法則はおおよそすべての金属材料に適用されることから、鋼材 A にも目では確認できないような伸びが発生していることになる。

このように、静力学は力の作用を受けた構造体がつり合って静止し、

構造体の運動量の変化が無視できる問題を取り扱う学問である。構造体に変形を伴って静止する場合もこれに含まれる。

(2) 動力学

ここでは、図1-1に示したワイヤロープが、図1-3のように切れた場合を考えてみる。この場合、鋼材 A には重力 $F = m \cdot g$ (N) の力のみが下向きに作用する。ここで、ワイヤロープが切れた時刻を t_0 、その Δt (s) 後の時刻を t_1 とすると、各々の時刻における鋼材 A の速度は、 $V_0 = 0$

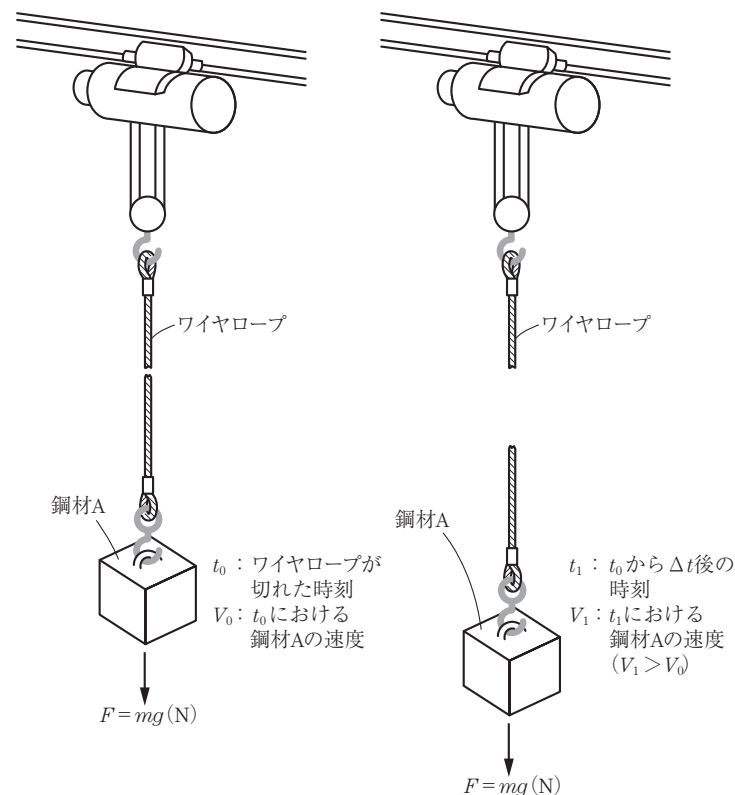


図1-3 ワイヤロープが切れた場合の鋼材の運動

(m/s)、 $V_1 = V_0 + g \cdot \Delta t$ (m/s) によって表される。これを $F = m \cdot g$ (N) に代入すると、 $F = (m \cdot V_1 - m \cdot V_0) / \Delta t$ (N) となる。 $m \cdot V_1$ 、 $m \cdot V_0$ は質量と速度の積であり、運動する物体のはげしさを示す一つの目安である運動量と呼ばれる物理量である。この式は、「外部から力が作用する場合、物体はその力の方向に運動量の変化を生じ、その変化の時間に対する割合は外力の大きさに比例する」という運動の法則を表している。

このように、動力学は力の作用を受けた構造体が運動し、構造体の運動量が変化する問題を取り扱う学問である。静力学の場合と同じように、構造体に変形を伴って運動する場合もこれに含まれる。

1-2 ● 力の表し方

建物、送電鉄塔、橋、観覧車などの構造体は、主として重力による力の作用を受けて、つり合って静止した状態で立っている。これらの構造体は、たいてい多数の構造部材【structural member】が組み合わさって構成されている。力はこれら構造部材に広くゆきわたり、構造部材が縮んだりあるいは伸びたり微小変形することにより分担され、構造体は立つことができる。力自体は、直接目でみることができないため、力が構造部材にどのようにゆきわたり、どのような効果を与えているかは一見分かりづらい。

しかし、目でみえない力を「矢印」を用いて表すことにより、力が構造部材のどの点に、どのような向きに、どのくらい作用しているのかが分かるようになる。また、力が構造体の各構成部材にどのようにゆきわたるのかが計算でき、図示することができるようになる。ここでは、力の表し方について学ぶ。

(1) スカラーとベクトル

図1-4に示すように、スケールを用いてある錘の質量を量ることを考えてみる。スケールの一端を手で持ち、他端のフックに錘を糸で吊るすと、スケールはその錘の質量の目もりを表示する。ただし、糸の質量は無視できるくらい十分に小さいものとする。吊るされた錘は、地球の引力の作用により、地球の中心に向かって引っ張られている（図中では下向き）。すなわち、錘には重力が作用している。質量と重力の関係を式で表すと、先に示したように、

$$F = m \cdot g \quad (1-2)$$

となる。ここで、 g は重力加速度であり、厳密には地球上の場所により若干異なるが、通常 9.8 m/s^2 として差し支えない。

式(1-2)の質量 m は大きさだけで定まる量であり、スカラー【scalar】

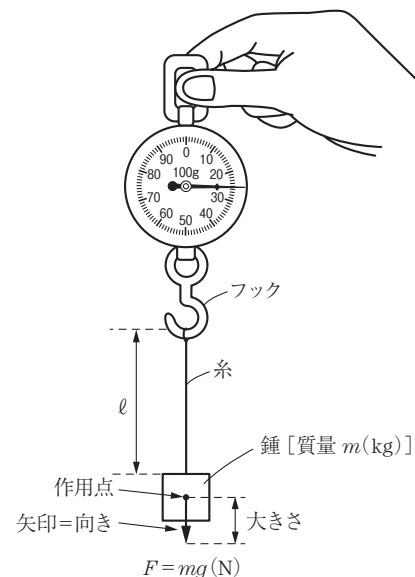


図1-4 錘に作用する重力の表し方