

## 衝撃力の計算

2013年11月4日

三浦 裕

名古屋市立大学大学院医学研究科分子神経生物学  
愛知県山岳連盟所属 社会人山岳会 チーム猫屋敷

### I. 衝撃力の定義

質量  $m[\text{kg}]$  の物体が地上から高さ  $h[\text{m}]$  のところから落下したときの地上での早さ  $v[\text{m/s}]$  は重力加速度を  $g[\text{m/s}^2]$  として

$$mgh \text{ (位置エネルギー)} = \frac{1}{2}mv^2 \text{ (運動エネルギー)} \quad (1.1)$$

から

$$v = \sqrt{2gh} \quad (1.2)$$

で与えられる。この物体はそのとき、 $mv[\text{kg} \cdot \text{m/s}]$  という運動量を持つ。落下点で力  $F[\text{N}]$  を時間  $\Delta t[\text{s}]$  だけ受け、この運動量はゼロになる。そのとき、力が一定であると仮定すると

$$F\Delta t = mv \quad (1.3)$$

が成り立つので、

$$F = \frac{mv}{\Delta t} \quad (1.4)$$

を得る。これをその物体の受ける衝撃力と定義する。

### II. $\Delta t$ の評価

この問題で難しいのは  $\Delta t$  の評価である。以下では次のように考えることにする。落下した物体は地上では速度  $v[\text{m/s}]$  を持っている。この物体がおよそ  $l[\text{m}]$  だけすすむことによって衝撃を吸収し、速度がゼロになったと考える。そうすると速度がゼロになるまでの時間は  $l/v[\text{s}]$  で与えられる。それゆえに次元解析から

$$\Delta t = \frac{l}{v} \quad (2.1)$$

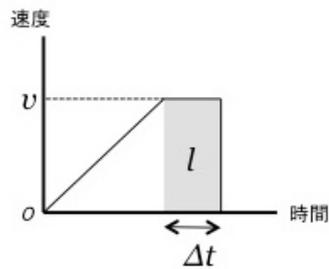
と評価できる。

一定の力が働き、加速度  $-a[\text{m/s}^2]$  の等加速度運動によって速度がゼロになったとすると、

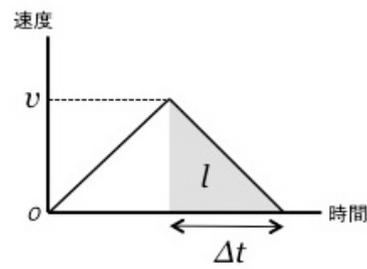
$$v = a\Delta t, \quad l = \frac{1}{2}a(\Delta t)^2 \text{ から}$$

$$\Delta t = \frac{2l}{v} \quad (2.2)$$

(2.1) と (2.2) では factor 2 だけ異なる。



(図2.1)



(図2.2)

(2.1) (2.2) いずれの  $\Delta t$  の評価でも (1) の factor を除いて (2.1) と一致する。以下では最も短い時間で静止する条件である (2.1) を用いることにする。そうすると (1.1) (1.2) と (2.1) から

$$F = \frac{mv^2}{l} = \frac{2mgh}{l} \quad (2.3)$$

### III 衝撃力の評価

以上の準備の下に衝撃力の評価を行う。ザイルが  $L$  [m] 繰り出された場所からクライマーが  $h$  [m] 墜落した情况进行て、クライマーに制動力がかかる距離を  $l$  [m] はザイルの伸縮性能に依存して、繰り出したロープの全長  $L$  に比例する。その比例定数をザイルの単位長さ当たりの伸びる長さ (伸び率)  $r$  の定数で表現すると、

$$l = rL \quad (3.1)$$

(3.1) と (2.2) から

$$F = \frac{2mgh}{rL} = \frac{2mg}{r} \frac{h}{L} \quad (3.2)$$

$h/L$  を落下係数として定義すると、クライマーが受ける衝撃力は落下係数に比例することを (3.2) は示している。ところで距離  $l$  [m] は、繰り出したロープの全長  $L$  の他に、落下距離  $h$ 、クライマーの体重  $mg$  の要素で決まる値だから比例定数  $r$  だけでは求まらない数値である。そのため (3.1) の計算値には誤差が出る。実際には、岩との摩擦などの要因も加わって  $l$  は決まる。

(例題) ザイルの繰り出し長さが  $L=3$  [m] の高さから  $h=0.3$  [m] 墜落した場合と、ザイルの繰り出し長さが  $L=30$  [m] の高さから  $h=3$  [m] 墜落した場合のクライマーが受ける衝撃力をザイルの伸び率 8% ( $r=0.08$ )、クライマーの体重  $m=60$  [kg] として比較してみよう。

(解答)

$L=3$  [m]、 $h=0.3$  [m] の墜落条件では

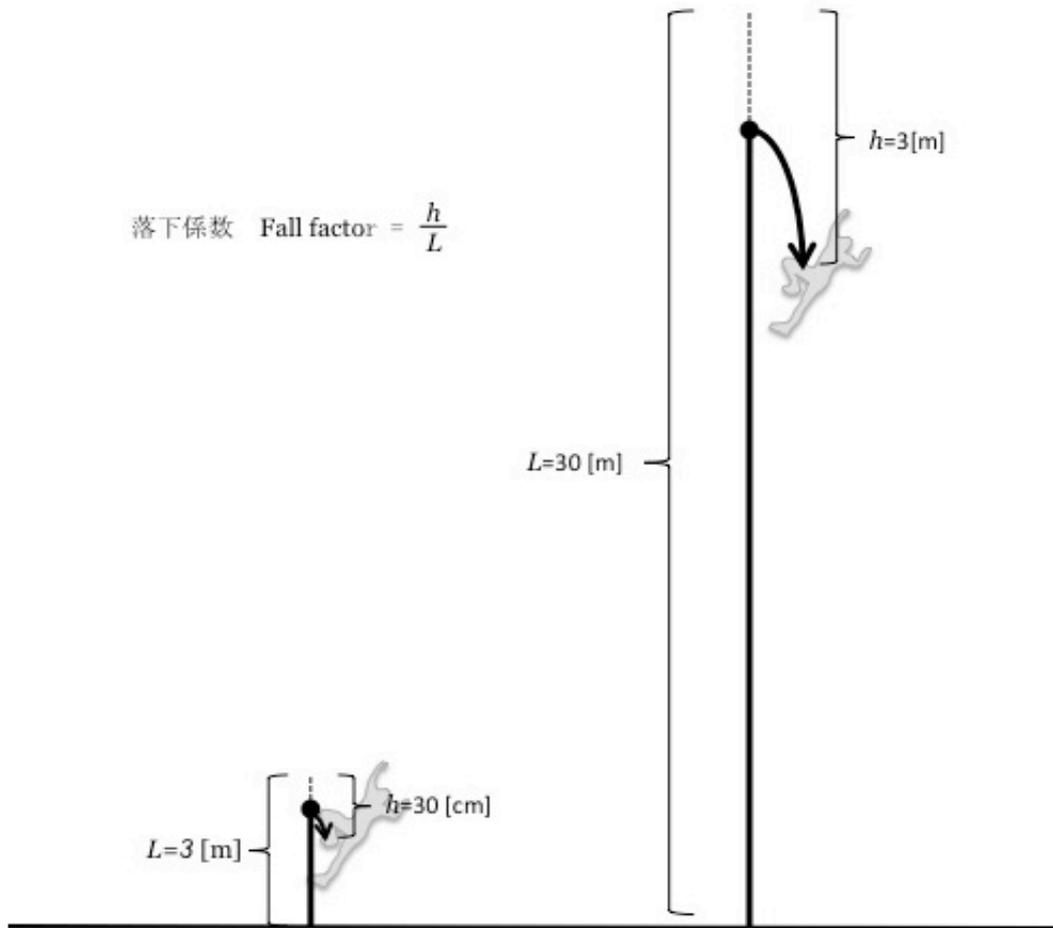
$$F = \frac{2mgh}{rL} = \frac{2 \cdot 60 \cdot 9.8 \cdot 0.3}{0.08 \cdot 3}$$

1470 [N]  $\approx$  150 [kgf] となり、質量の単位で 150 kg 程度になる。

$L=30$  [m]、 $h=3$  [m] の墜落条件では

$$F = \frac{2mgh}{rL} = \frac{2 \cdot 60 \cdot 9.8 \cdot 3}{0.08 \cdot 30}$$

1470 [N]  $\approx$  150 [kgf] となり、質量の単位で 150 kg 程度になってい二つが一致した値になる。



註

- I. 衝撃力の定義および II.  $\Delta t$  の評価は <http://higgs.phys.kyushu-u.ac.jp/~koji/download.html> 九州大学大学院理学研究科物理学部門の原田恒司教授ノートから引用しました。  
 III ザイルの伸び率を設定し、落下係数を導入して衝撃力を評価する計算式は三浦が導きました。