巻末資料

第1節　基礎数表

1　単　位

自然現象を科学的・工学的に取り扱う場合，種々の量を数値で表わすために，いくつかの基本となる一定量が約束で決められている。それらが基本単位で，例えば，質量の単位「キログラム」は国際キログラム原器の質量に等しい。

基本単位系としてはメートル系のMKS系・CGS系，ヤード・ポンド系等があるが，単位のいっそうの普遍性・国際性を目指す中で，一貫性のある単位系として各国で国際単位系（SI）が採用されている。我が国では，国際的情勢に対応して，1974年からJISに導入している。

(1)　国際単位系（SI）

SIは，基本単位（7個）より組み立てられている（表6.1参照）。その主な組立単位を，表6.2に，他単位との換算率表を，表6.3に示す。

特に，重力単位系との換算関係は，次のとおりである。

標準の重力加速度　$g = 9.8\ m/s^2$

1重量キログラム（単位記号 kgw）= 9.8 N = 9.8 kg・m/s^2

1重量キログラム毎平方センチメートル = 98,000 Pa = 0.98 bar

表6.1　SI基本単位；JIS Z8000-1（2014）抜粋

ISQ基本量	SI基本単位	
	名称	記号
長さ	メートル	m
質量	キログラム	kg
時間	秒	s
電流	アンペア	A
熱力学温度	ケルビン	K
物質量	モル	mol
光度	カンデラ	cd

表6.2　SI基本単位および組立単位

量	単位の名称	単位記号	備　考
平面角	ラジアン	rad	$1°$（度）$= \frac{\pi}{180}$rad, $1'$（分）$= \frac{1°}{60}$, $1''$（秒）$= \frac{1'}{60}$
立体角	ステラジアン	sr	
長さ	メートル	m	
面積	平方メートル	m^2	
体積	立方メートル	m^3	1 L（リットル）$= 10^{-3}$ m^3
時間	秒	s	1 min（分）= 60 s 1 h（時）= 60 min 1 d（日）= 24 h
角速度	ラジアン毎秒	rad/s	
速度	メートル毎秒	m/s	
加速度	メートル毎秒毎秒	m/s^2	重力の加速度　$g = 9.8$ m/s^2
周波数	ヘルツ	Hz	1 Hz = 1 s^{-1}
回転数	回毎秒	s^{-1}	min^{-1}（回毎分）
質量	キログラム	kg	1 t = 10^3 kg
密度	キログラム毎立方メートル	kg/m^3	
運動量	キログラムメートル毎秒	kg・m/s	質量 × 速度
力	ニュートン	N	1 N = 1 kg・m/s^2
力のモーメント	ニュートンメートル	N・m	
圧力	パスカル	Pa	1 Pa = 1 N/m^2 1 bar（バール）= 10^5 Pa
応力	パスカルまたはニュートン毎平方メートル	Pa N/m^2	
粘度	パスカル秒	Pa・s	
動粘度	平方メートル毎秒	m^2/s	
エネルギー	ジュール	J	1 J = 1 N・m
仕事率	ワット	W	1 W = 1 J/s
熱力学温度	ケルビン	K	
セルシウス温度	セルシウス度	℃	T（℃）= T（K）− 273.15
温度間隔	ケルビン	K	セルシウス温度間隔は ℃でもよい。
熱量	ジュール	J	
比熱	ジュール毎キログラム毎ケルビン	J/(kg・K)	
電流	アンペア	A	

表6.3　SI単位換算表

（太線枠内がSI単位）

力	N	dyn
	1	1×10^{5}
	1×10^{-5}	1

粘度	Pa・s	cP	P
	1	1×10^{3}	1×10
	1×10^{-3}	1	1×10^{-2}
	1×10^{-1}	1×10^{2}	1

注　1 P = 1 dyn・s/cm^2 = 1 g/cm・s.
1 Pa・s = 1 N・s/m^2，1 cP = 1 mPa・s

圧力	Pa	bar	atm	mmH$_2$O	mmHg or Torr
	1	1×10^{-5}	$9.869\ 23 \times 10^{-6}$	$1.019\ 72 \times 10^{-1}$	$7.500\ 62 \times 10^{-3}$
	1×10^{5}	1	$9.869\ 23 \times 10^{-1}$	$1.019\ 72 \times 10^{4}$	$7.500\ 62 \times 10^{2}$
	$9.806\ 65 \times 10^{4}$	$9.806\ 65 \times 10^{-1}$	$9.678\ 41 \times 10^{-1}$	1×10^{4}	$7.355\ 59 \times 10^{2}$
	$1.013\ 25 \times 10^{5}$	1.013 25	1	$1.033\ 23 \times 10^{4}$	$7.600\ 00 \times 10^{2}$
	9.806 65	$9.806\ 65 \times 10^{-5}$	$9.678\ 41 \times 10^{-5}$	1	$7.355\ 59 \times 10^{-2}$
	$1.333\ 22 \times 10^{2}$	$1.333\ 22 \times 10^{-3}$	$1.315\ 79 \times 10^{-3}$	$1.359\ 51 \times 10$	1

注　1 Pa = 1 N/m^2

磁界の強さ	A/m	Oe
	1	$1.257 \cdot 10^{-2}$
	79.58	1

磁束密度	T	G
	1	1×10^{4}
	1×10^{-4}	1

応力	Pa	MPa or N/mm^2
	1	1×10^{-6}
	1×10^{6}	1

動粘度	m^2/s	cSt	St
	1	1×10^{6}	1×10^{4}
	1×10^{-6}	1	1×10^{-2}
	1×10^{-4}	1×10^{2}	1

注　1 St = 1 cm^2/s

仕事・エネルギー・熱量	J	kW・h	kcal
	1	$2.777\ 78 \times 10^{-7}$	$2.388\ 89 \times 10^{-4}$
	3.600×10^{6}	1	$8.600\ 0 \times 10^{2}$
	$4.186\ 05 \times 10^{3}$	$1.162\ 79 \times 10^{-3}$	1

注　1 J = 1 W・s，1 W・h = 3,600 W・s
1 cal = 4,186.05 J（計量法による）

熱伝導率	W/(m・K)	kcal/(h・m・℃)
	1	$8.600\ 0 \times 10^{-1}$
	1.162 79	1

注　1 cal = 4,186.05 J（計量法による）

熱伝達係数	W/(m^2・K)	kcal/(h・m^2・℃)
	1	$8.600\ 0 \times 10^{-1}$
	1.162 79	1

注　1 cal = 4,186.05 J（計量法による）

仕事率（工率・動力）熱量	kW	PS	kcal/h
	1	1.359 62	$8.600\ 0 \times 10^{2}$
	7.355×10^{-1}	1	$6.325\ 29 \times 10^{2}$
	$1.162\ 79 \times 10^{-3}$	$1.580\ 95 \times 10^{-3}$	1

注　1 W = 1 J/s，PS：仏馬力
1 PS = 0.735 5 kW（計量法施行法による）
1 cal = 4,186.05 J（計量法による）

比熱	J/(kg・K)	kcal/(kg・℃) cal/(g・℃)
	1	$2.388\ 89 \times 10^{-4}$
	$4.186\ 05 \times 10^{3}$	1

注　1 cal = 4,186.05 J（計量法による）

(2)　SI接頭語

SI単位の10の整数乗倍を構成する接頭語を，表6.4に示す。

表6.4　SI接頭語：JIS Z8000-1（2014）抜粋

倍量又は分量	接頭語	
	名称	記号
10^{24}	ヨタ	Y
10^{21}	ゼタ	Z
10^{18}	エクサ	E
10^{15}	ペタ	P
10^{12}	テラ	T
10^{9}	ギガ	G
10^{6}	メガ	M
10^{3}	キロ	k
10^{2}	ヘクト	h
10^{1}	デカ	da
10^{-1}	デシ	d
10^{-2}	センチ	c
10^{-3}	ミリ	m
10^{-6}	マイクロ	μ
10^{-9}	ナノ	n
10^{-12}	ピコ	p
10^{-15}	フェムト	f
10^{-18}	アト	a
10^{-21}	ゼプト	z
10^{-24}	ヨクト	y

2　次　元

すべての物理量は，少数の，たがいに独立な基本的物理量の累乗の積に比例する。例えば，長さ，質量，時間を基本的物理量と見なして，それぞれL，M，Tの記号で表わせば，

面積：$L^2M^0T^0$，　体積：$L^3M^0T^0$，　速度：LM^0T^{-1}，　力：LMT^{-2}

となる。この場合の累乗の指数を，L，M，Tに関する次元（ディメンション）という。

種々の量の関係を表わす式では，次元についても同じ関係が成立する。例えば，水圧シリンダーの圧力とシリンダーの断面積からそのシリンダーの圧力を求めるときは，

内圧［力/長さ^2］×　断面積［長さ^2］= 力［力］

$$L^{-1}MT^{-2} \times L^2M^0T^0 = LMT^{-2}$$

このとき,内圧の数値が長さの単位を［m］として表わしておれば，それに乗ずる断面積も［m］単位の数値でなければならない。

3　ギリシャ文字

常用されることが多いギリシャ文字を，表6.5に示す。

表6.5　ギリシャ文字

頭文字	小文字	読み方	頭文字	小文字	読み方	頭文字	小文字	読み方
Α	α	アルファ	Ι	ι	イオタ	Ρ	ρ	ロー
Β	β	ベータ	Κ	κ	カッパ	Σ	σ	シグマ
Γ	γ	ガンマ	Λ	λ	ラムダ	Τ	τ	タウ
Δ	δ	デルタ	Μ	μ	ミュー	Υ	υ	ウプシロン
Ε	ε	イプシロン	Ν	ν	ニュー	Φ	ϕ	ファイ
Ζ	ζ	ジータ	Ξ	ξ	クサイ	Χ	χ	カイ
Η	η	イータ	Ο	o	オミクロン	Ψ	ψ	プサイ
Θ	θ	シータ	Π	π	パイ	Ω	ω	オメガ

第2節　数　学

1　代数公式の例

$$(a \pm b)^2 = a^2 \pm 2ab + b^2 \qquad a^m \cdot a^n = a^{m+n}$$

$$(a \pm b)^3 = a^3 \pm 3a^2b + 3ab^2 \pm b^3 \qquad (a^m)^n = a^{mn} = (a^n)^m$$

$$a^3 \pm b^3 = (a \pm b)(a^2 \mp ab + b^2) \qquad a^0 = 1\,(a \neq 0)$$

2　三角関数の定義

直角三角形ABCの∠ABC = θとすれば（図6.1参照），下式の関係がある。

$$\sin\theta = \frac{AC}{AB} \qquad \mathrm{cosec}\,\theta = \frac{AB}{AC}$$

$$\cos\theta = \frac{BC}{AB} \qquad \sec\theta = \frac{AB}{BC}$$

$$\tan\theta = \frac{AC}{BC} \qquad \cot\theta = \frac{BC}{AC}$$

$\overline{AB}^2 = \overline{BC}^2 + \overline{CA}^2$（ピタゴラスの定理）

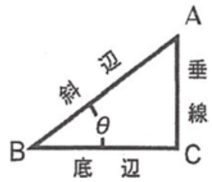
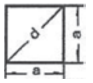
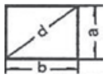
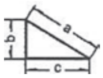
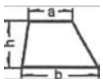


図6.1　三角関数の定義

3　平面図形の面積と立体の体積・表面積

基本的な平面図形と立体の面積・体積・表面積の例を，表6.6に示す。

表6.6　平面図形の面積と立体の体積・表面積

正方形		面　積	$A = a^2$ $A = \frac{1}{2}d^2$
長方形 （矩形）		面　積	$A = ab$ $A = a\sqrt{d^2 - a^2} = b\sqrt{d^2 - b^2}$
直角三角形		面　積	$A = \frac{bc}{2}$ $a = \sqrt{b^2 + c^2}$
台形 （梯形）		面　積	$A = \frac{(a + b)h}{2}$
円		面　積 円　周	$A = \pi {}^* r^2 = 3.14\ r^2$ $C = 2\pi {}^* r = 3.14\ d$
球		体　積 表面積	$V = \frac{4}{3}\pi {}^* r^3 = \frac{\pi d^3}{6} = 0.52\ d^3$ $A = 4\pi {}^* r^2 = \pi d^2 = 3.14\ d^2$

4　数値の丸め方

鉱工業における十進法の数値を丸める場合は，図6.2に示す方法にもとづく：例：5桁を有効数字3桁に丸める場合（説明図は，JIS Z8401の規定に基づいて作成）。

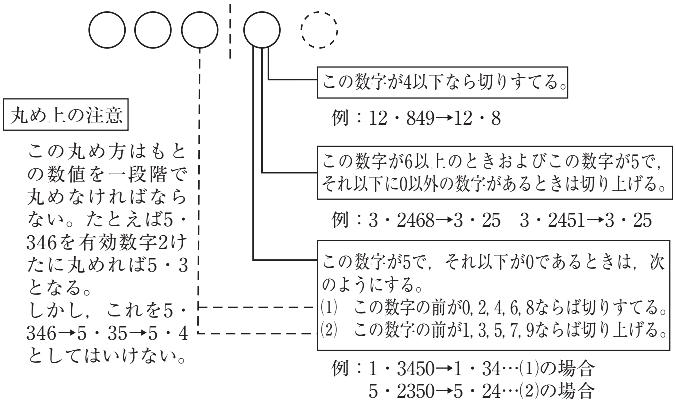


図6.2　数値の丸め方

第3節　力　学

1　力の3要素

ある物体が，地球に対して時間とともにその位置や向きを変えることを地球上での運動という。物体の運動状態の変化は，力の作用によって起こる。力による運動状態の変化は，加えられた力の①大きさ，②方向，③作用点によって決まり，これを力の3要素という。力の図示は，図6.3のように，作用点から作用方向へ直線を引き（作用線），その線上で力の大きさに比例した長さの矢印によって表わす。

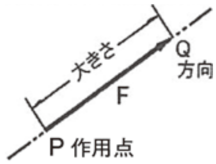


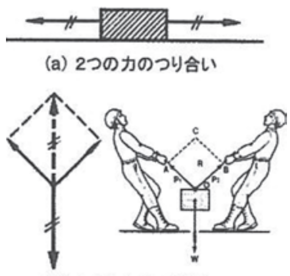
図6.3　力の3要素と図示

力は，固体を介して伝えられるだけではなく，液体，気体の圧力や流れによっても作用する。

2　力のつり合い

いくつかの力が同時に1つの物体に作用したとき，その物体の運動状態（静止を含む）が変わらないと，これらの力はつり合っているいい，その物体はつり合い状態にあるという。

2つあるいは3つの力がつり合うためには，①大きさが等しく，②作用線が同一線上にあり，③方向が正反対であることが必要である（図6.4参照）。



(a) 2つの力のつり合い

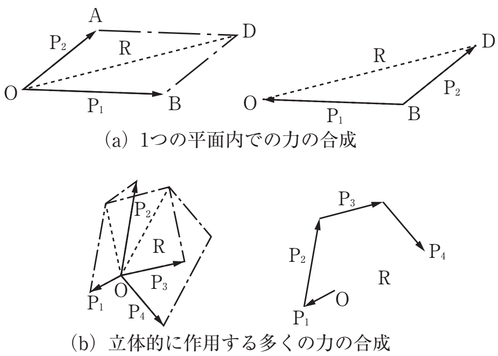
(b) 3つの力のつり合い

図6.4　力のつり合い

3　力の合成と分解

2つ以上の力が作用するとき，それらと同じ効果をもつ1つの力を考えることができ，それを元の力の合力といい，合力を求めることを力の合成という。逆に，1つの力を，同じ効果をもついくつかの力に分けることもでき，これを力の分解という。分解された力を元の力の分力という。

力の合成と分解の例を，図6.5に示す。力の合成・分解は，図（a）のように1平面上の場合だけでなく，（b）のように立体的に作用する多くの力についても可能である。



（a）1つの平面内での力の合成

（b）立体的に作用する多くの力の合成

図6.5　力の合成と分解

4　偶力とそのモーメント

大きさが等しく方向が反対で，着力点の異なる2つの平行な力を，偶力という（図6.6参照）。このような1組の力は，前項3のように合成できず，2力を合わせた作用は，物体を回転させることになる。この力をモーメント（記号M）といい，その大きさは，図の記号を用いて次式で表す。

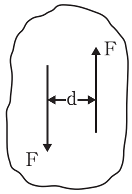


図6.6　偶力

$$M = Fd \cdots\cdots (6.1)$$

5　重心と物体の安定

地球上のすべての物体は，地球の中心に向かう方向（鉛直下方）に地球の引力を受けている。この力を重力という。重力は物体の各部に作用している平行な力であり，そのすべてを合成したとき，その合力が作用する点を，その物体の重心という。従って，力の関係について考える場合，その物体の全重量が重心に集まっているとして取り扱うことができる。

平面上に置いた物体を傾けたとき，重心の位置が底面の縁より内側にあれば，手を離しても元に戻る（図6.7参照）。重心がちょうど縁の上方に来るまで傾けて手を離すと，物体は元に戻らないが，すぐには倒れない。重心が縁より外に出るほど，大きく傾けて手を離せば物体は倒れる。傾斜面に物を置いたときにも，同じことがおこる。

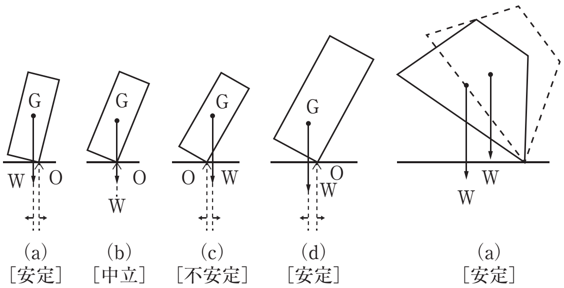


図6.7　物体の重心と安定の関係

一般に，物体は，図3.7の（d）や（e）のように，①重心が低く，②底面が広いほど安定が良い。

6　運　動

(1)　速度と加速度

運動の速さの度合いを速度という。また，単位時間に起こる速度の変化を加速度という。

すなわち，時間　t［s］の間に距離 L［m］を動いたとすると，その間の速度（または平均速度）V［m/s］は，次のように表わされる。

$$V = L/t \ [\mathrm{m/s}] \cdots\cdots (6.2)$$

時間t［s］の間に速度がV_1（初速度）からV_2（終速度）［m/s］に変わったとすると，その間の加速度（または平均加速度）α［m/s^2］は次のように表わされる。

$$a = \frac{V_2 - V_1}{t}\ [\mathrm{m/s^2}] \cdots\cdots (6.3)$$

終速度 $V_2 = V_1 + at$

その間の平均速度 $V_m = \dfrac{V_1 + V_2}{2} = V_1 + \dfrac{1}{2} a\, t$

その間に動いた距離 $L = V_m\, t = V_1\, t + \dfrac{1}{2} a\, t^2$

(2)　運動の3法則（ニュートンの3法則）

①　運動の第1法則（慣性の法則）

すべての物体は，他より力の作用を受けなければ，運動の状態を変えない（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度で直線運動を続ける）。

②　運動の第2法則

力が物体に作用している間，物体には力の方向に加速度が生じる。加速度の大きさは力に比例し，物体の質量に反比例する。すなわち，

加速度 = 力/質量，力 = 質量 × 加速度，と示される。

③　運動の第3法則（反作用の法則）

力の作用があれば，必ず，①同じ作用線上で，②大きさが等しく，③方向が反対の力が作用する。

(3)　円運動

物体が円周上を動く場合を円運動という（図6.8参照）。物体が円運動を続けるには円の中心に向かう力、求心力を受けていなければならない。求心力の反作用が遠心力である。求心力または遠心力の大きさは，物体の質量mと、それが円周上を動く速度vの2乗とに比例し，円運動の半径rに反比例する。

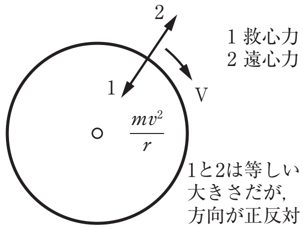


図6.8　求心力と遠心力

(4)　回転運動

軸のまわりに自由に回転できる物体に対し，軸と直角方向に軸を通らない線上の力が加わると，物体は回転する（図6.9参照）。加えられた力と軸のところで生ずる反力とが偶力となって，$M = F \times r$のモーメントが作用するからである。また，軸が物体の重心を通っていないとき，物体の回転運動は重心に質量が集まっていると考え，その重心点の円運動として扱うことができる。

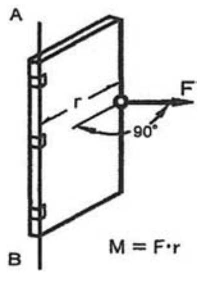


図6.9　物体の回転運動

物体に2つ以上の力が作用しても静止しているためには，力のつり合いとともに，モーメントのつり合いが成り立つ必要がある。

7　仕事と動力およびエネルギー

(1)　仕　事

力Fが作用し，質量mの物体を距離Lだけ動かしたとき，その力のした仕事Wは次式で表される。

$W = FL$［力・長さ：N・m］……………………………………(6.4)

(2)　動　力

仕事の時間に対する割合を動力（工率）という。力Fが質量mの物体を時間tのあいだに距離Lだけ一定の速度で動かす（速度$v = L/t$）とすると，

$P = FL/t = F\,v$［力・長さ/時間］…………………………………(6.5)

(3)　エネルギー

仕事をする能力をエネルギーという。従って，仕事とエネルギーとの次元は同じである。

① 位置のエネルギー

高いところにある物体は.落下または降下によって仕事をすることができる。従ってエネルギーを持っているわけで，これを位置のエネルギーという。高さhのところにある重量Gの物体のもつ位置のエネルギーは，次式で表わされる。

$U = Gh = mgh$　（gは重力の加速度：9.8 m/s^2）………………………(6.6)

② 運動エネルギー

運動している物体は，例えば，他の物体に突きあたると，それを動かすなどの仕事をする能力を持っている。すなわちエネルギーを持っているわけで，これを運動エネルギーという。速度vで動いている質量mの物体の運動エネルギーは，次式で表わされる。

$E = \dfrac{1}{2}mv^2$……………………………………………………(6.7)

速度が2倍になると，運動エネルギーは4倍になる。

③ エネルギー不滅の法則

エネルギーには，位置と運動のほか，熱，弾性体のひずみ，液体、気体の圧力，電気など，種々の形がある。これらはいろいろに形を変え，あるいは他の物体に移るが，エネルギーの出入りがない1つの範囲において総量は一定で,消滅することはない。これをエネルギー不滅の法則という。

例えば，物体が自由に落下するとき，高さが下がって位置のエネルギーが減るが，それは落下速度による運動エネルギーに変わり，この増減は等量である。

8　摩　擦

(1)　摩擦力

2つの物体が接触したまま相互にずらすためには，力を加える必要がある。これは接触面で作用する抵抗に打ち勝つためであり，この抵抗を摩擦力という。

静止している物体を動かすときに作用する摩擦を静止摩擦といい，運動中の物体に作用する摩擦を運動摩擦という。摩擦力を接触面に働く力（水平面上に置いた物体ならその重量）で除した値を，摩擦係数という。摩擦係数を，水平面上の物体の場合を示した記号（図6.10参照）で表わすと，次式となる。

$$\mu = F/N,\quad F = \mu N \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (6.8)$$

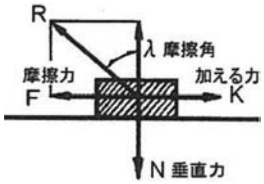


図6.10　摩擦力

この図で，物体を滑らそうとする力がFより小さければ物体は動かない。物体がまさに動きだそうとするとき，または一定の速度で滑るときは，物体の重量Gと平面がそれを支える力Nおよび摩擦力Fと動きだそうとする力Kが，それぞれ釣り合った状態である。これによって接触面での摩擦係数が分かっておれば，次式からこの物体を動かすのに必要な力が求められる。

$$K = F = \mu N \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (6.9)$$

またNとFの合力Rが垂直方向（Nの方向）となす角λを摩擦角といい，次の関係が成り立つ。

$$\tan\lambda = F/N = \mu \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (6.10)$$

静止している物体が動き始めるときのμが静止摩擦係数（μ_0），一定の速度で動き続けるときのμが運動摩擦係数〔すべり摩擦係数（μ）〕という。

摩擦係数は，接触面の状態により変わるので，滑りを起こさせたくないときは摩擦係数を大きく，なめらかに滑らせたいときは摩擦係数を小さくする。

(2)　摩擦の法則

摩擦の法則は，比較的表面に汚れの少ない固体摩擦（または乾燥摩擦）について経験的に得られ，油脂膜の境界摩擦（第6節「潤滑」参照）についてもほぼ成立する。

① 摩擦は接触面間に加えられた垂直力Nに比例し，見掛けの接触面積の大小に無関係である（静止摩擦および運動摩擦）。

② 摩擦はすべり速度に無関係である。

③ 一般に静止摩擦は運動摩擦より大きい。

(3)　すべり摩擦ところがり摩擦

運動摩擦には2種類あり，2つの物体が接触して滑るときの摩擦をすべり摩擦，一方が他の物体にそって転がる時の摩擦をころがり摩擦という。ころがりでも前項のような摩擦係数（ρ）があり，これは

すべりの摩擦係数に比べて著しく小さい。この関係を，表6.7および表6.8に示す。重いものを運ぶとき，ころを敷くのはこの性質を利用したものであり，ころがり軸受も同様である。

表6.7　すべり摩擦

面の種類	μ（ミュー）
木と木	0.25 ～ 0.50
木と麻縄	0.35 ～ 0.50
木と鋳鉄	0.20 ～ 0.60
金属と金属	0.15 ～ 0.20
金属と革	0.56
木と革	0.27

表6.8　ころがり摩擦

車　輪	平　面	ρ（ロー）
硬い木	硬い木	0.05 ～ 0.08
鋳　鉄	鋳　鉄	0.005
軟　鋼	軟　鋼	0.005
焼入鋼球	鋼性軸受	0.0005 ～ 0.001

(4)　その他の摩擦

摩擦は、個体と個体の間に生ずるだけではなく、固体と気体、固体と液体の間にも生ずる。パイプを通して空気や水を送るときは、この摩擦に打ち勝つ力を圧力の形で加えなければならい。