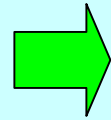


3 . 力

2004/05/12(Wed)

1. 力 (force)

物体に力が作用



物体を変形
運動の状態を変化

• 力(force)

ベクトル量(vector)

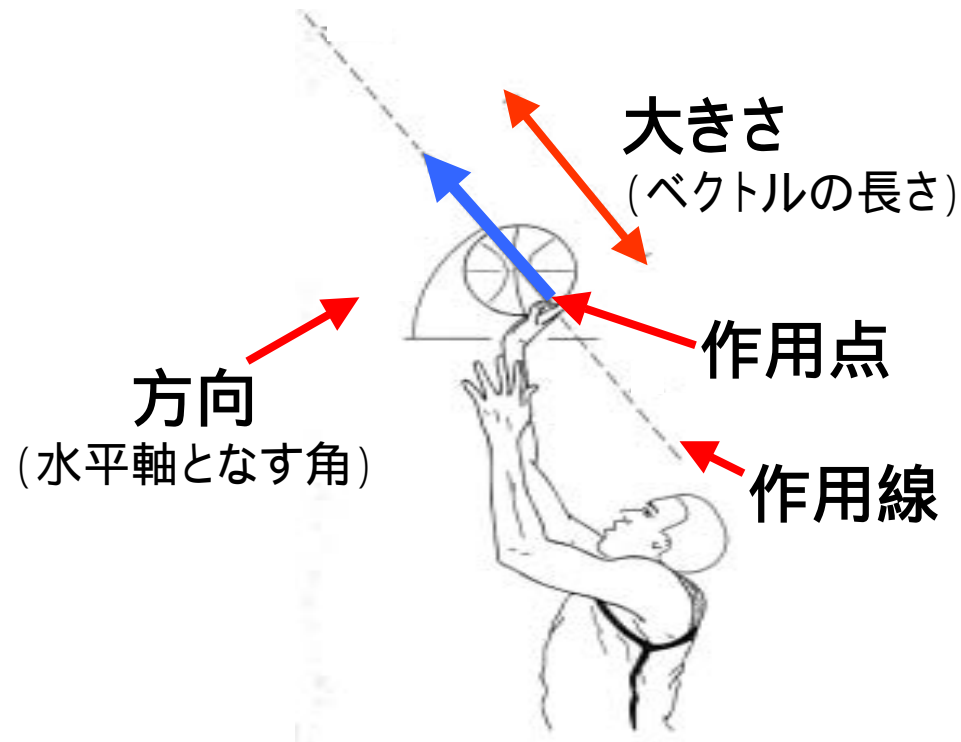
大きさ

方向

(作用点 作用線)

• $\mathbf{F} = m\mathbf{a}$

1 [N] = 1 [kg·m/s²]

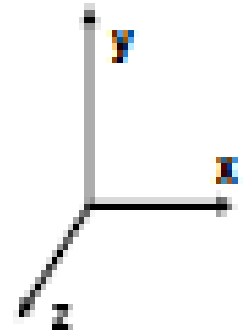


(Ellen K&Katharine MB,1996,改)

2.座標系 (coordinate system)

直交座標系

- 3次元空間内の質点(or質点系の位置)を決めるための基準
- 原点と互いに直交する3つの軸(x, y, z)により構成
(2次元の場合は x, y 軸)
- 通常, 右手系で運動の進行方向, 鉛直方向, 左右方向に座標軸をとる



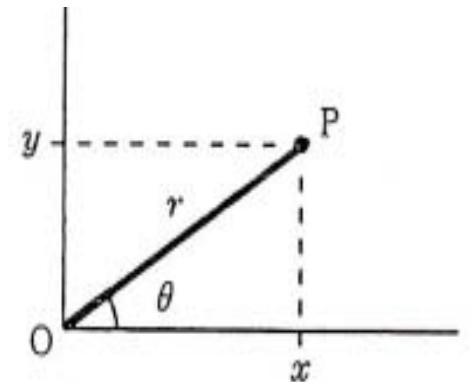
極座標系

- 角度と原点からの距離を用いて表わす座標系
- 2次元平面の場合, 座標系の原点との距離 r と原点を結んだ直線が水平線となす角 θ を用いて表わす

$$x = r \cos \theta$$

$$y = r \sin \theta$$

- 剛体リンクモデルでは $r = \text{一定}$ であるため, 各座標値を変数 θ のみで表わせるため, 身体分析において有効なことがある



3. 力の分類

・ 1つの物体に複数の力が作用

全体で**力系 (force system)**を形成

・ 力系を形成する力は、力が作用している物体への効果や、他の力と比較したときの方向などによって分類される

外力

内力

法線方向の力

接線方向の力

伸張力

圧縮力

摩擦力

弾性力

共線的な力系

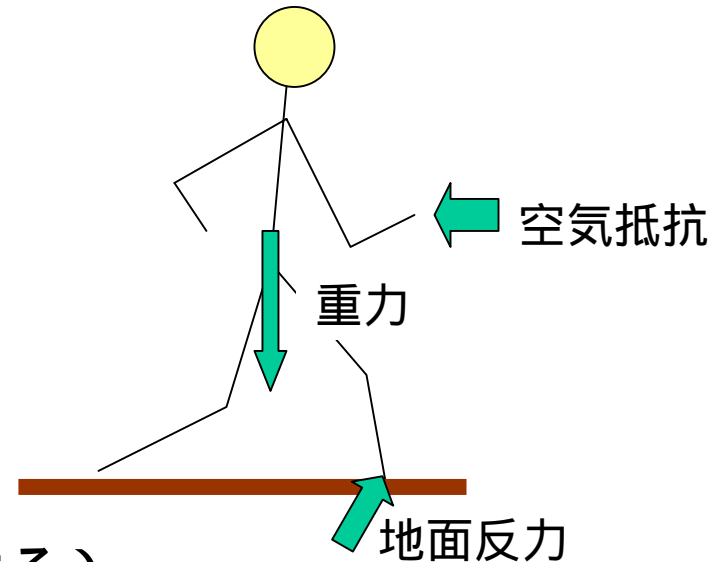
共点的な力系

平行的な力系

3-1 外力と内力

外力 (external force)

- 接触力：
接触している物体から受ける力
(地面反力, 空気抵抗など)
- 場による力：
質点系の外から各質点に作用する力
(重力場, 電場, 磁場, 慣性などによる)

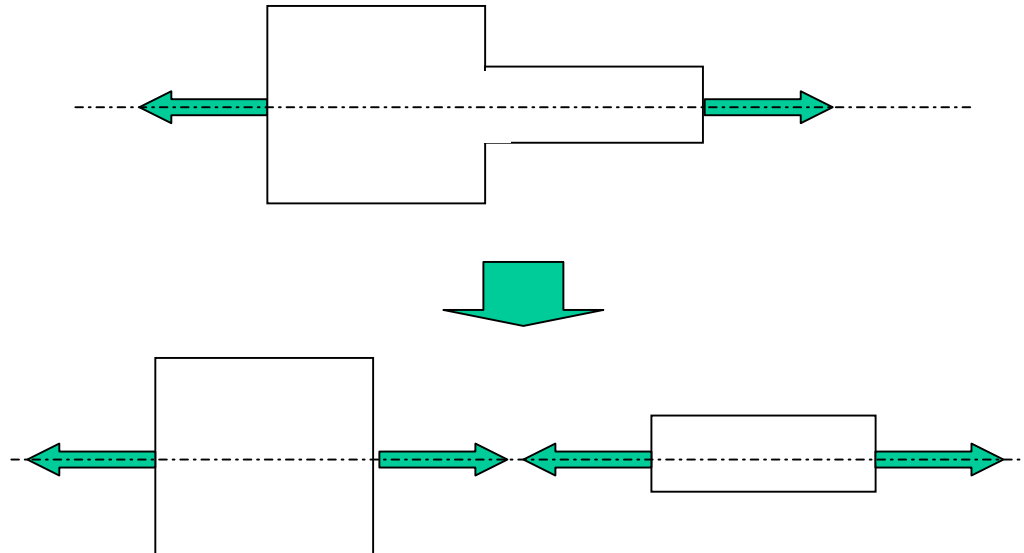
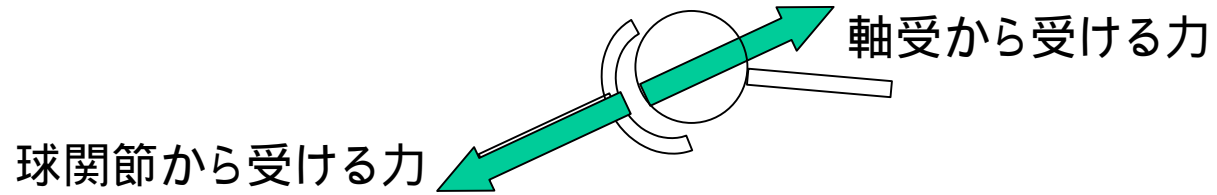


内力 (internal force)

- 物体が外部から力を受けているときに, ある物体やシステムの内部にとどまり, その物体を分解させずに保たせる力
- 質点系の質点間で相互に作用する力
- 物体(剛体系)の重心の運動には影響を及ぼさない
(内力の和はゼロ 作用・反作用を考える)
- 自由体図(後述)を書くときに必要

3-1 外力と内力(2)

内力の例) 筋力や関節面での接触力



3-2 法線方向の力と接線方向の力

力：いくつかの方向(直行する成分など)に分解すると考えやすい

基準面を決める！

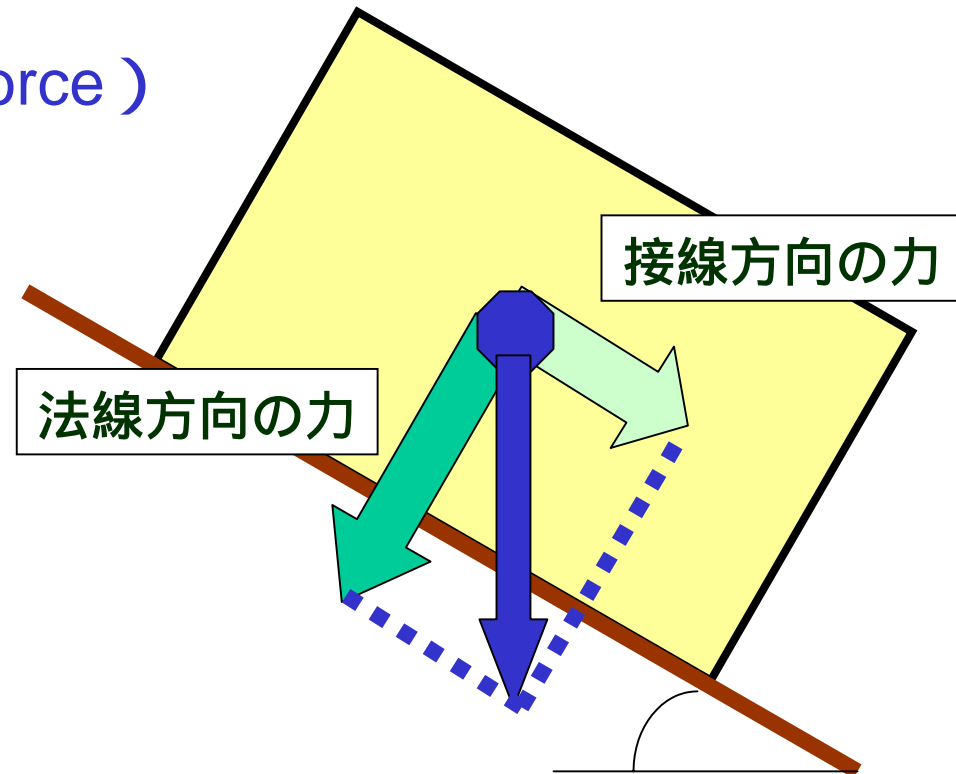
法線方向の力 (normal force)

- 基準となる面に垂直な方向に作用する力

接線方向の力

(tangential force)

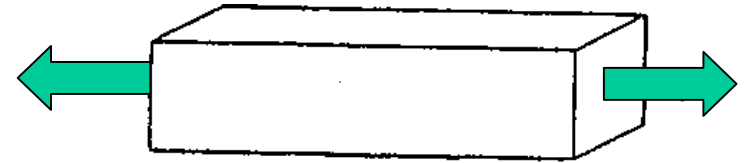
- 基準となる面に平行な方向に作用する力



3-3 伸張力と圧縮力

伸張力 (tensil force)

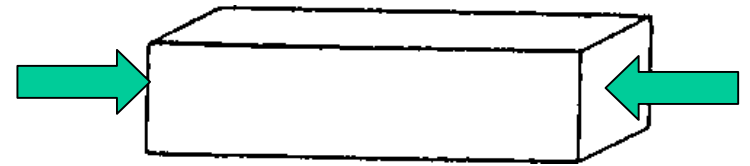
- 物体を伸張(膨張)させる力



伸張力

圧縮力 (compressive force)

- 作用した方向に物体を収縮させる力



圧縮力

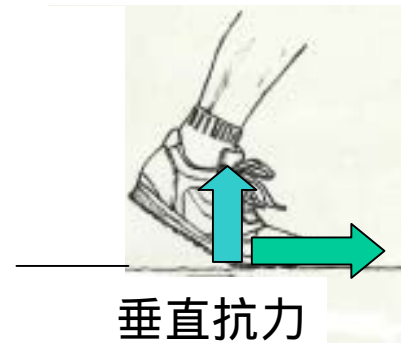
筋が収縮する

- 筋と結合している骨に伸張力が発生
(ただし、筋は圧縮力を発生することも骨を押すこともできない)

3-4 摩擦力(1)

(例) けり出し時

(McGinnis P, 1999)



摩擦力

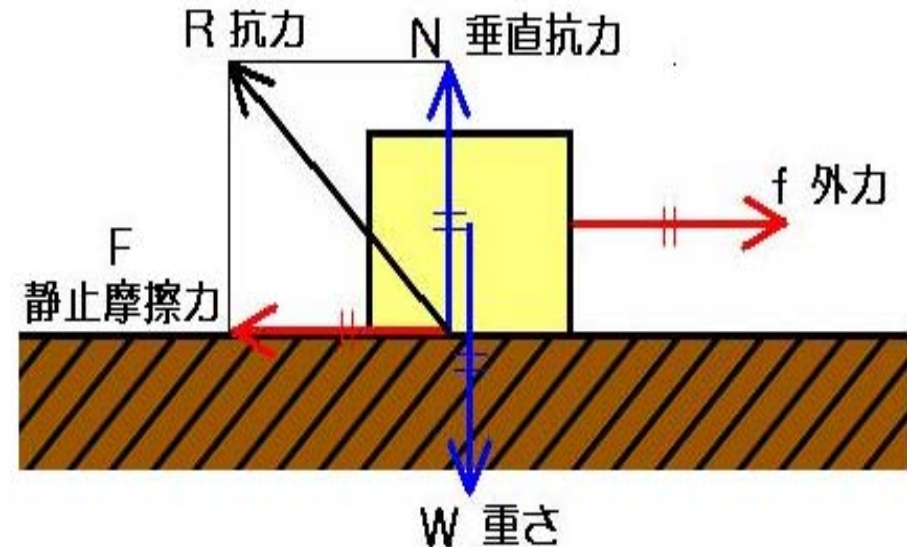
垂直抗力

摩擦力(friction force)

- ・接触している2つの物体が、相対的に動きはじめたり動いているとき、その運動を妨げる向き(接触面の接線方向)に作用する力

静止摩擦力 (static friction force)

- ・2つの物体が相対的に動いていないときの摩擦力
- ・重さ W の物体に、水平に外力 f を加えるとき、力の釣り合いより
 - 水平方向: $F = f$
 - 鉛直方向: $N = W$
- ・垂直抗力 N と静止摩擦力 F の合力
抗力 R



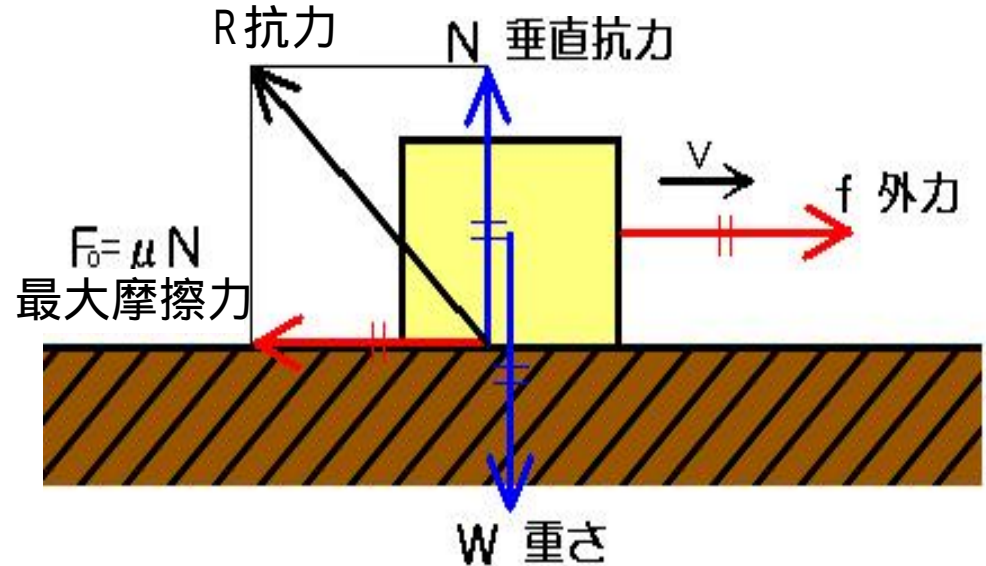
3-4 摩擦力(2)

最大摩擦力

(maximum friction force)

- ・滑り出す直前の静止摩擦力
- ・静止摩擦係数を μ とすると

$$F_0 = \mu N$$

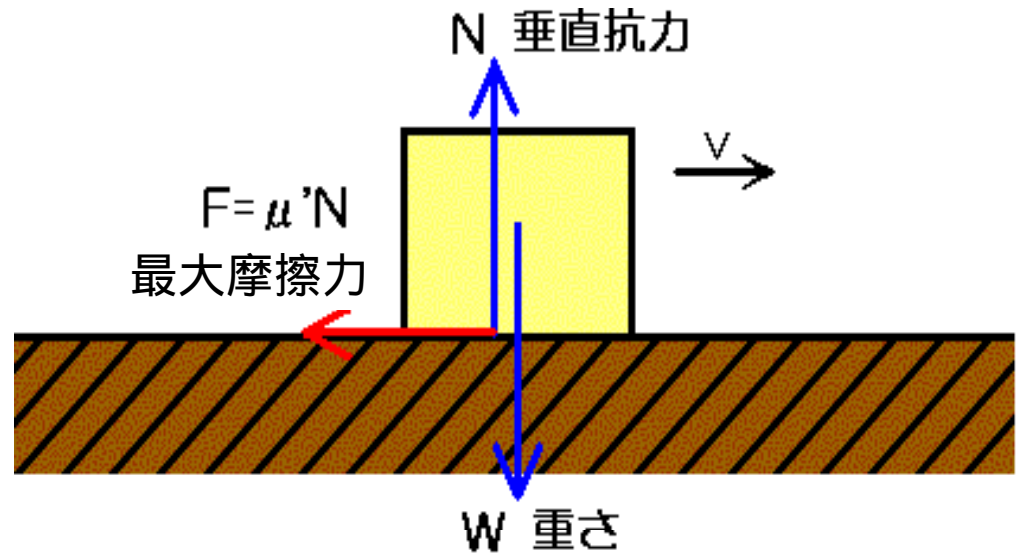


動摩擦力

(dynamic friction force)

- ・2つの物体が相対的に動いているときの摩擦力
- ・動摩擦係数を μ' とすると

$$F = \mu' N$$



3-4 摩擦力 (3)

摩擦係数 (coefficient of friction)

$$\mu = \frac{F}{N}$$

- ・ 接触している物体によって異なる

* 摩擦力の大きさは、摩擦係数と
垂直抗力のみ依存
(接触面の面積には依存しない)

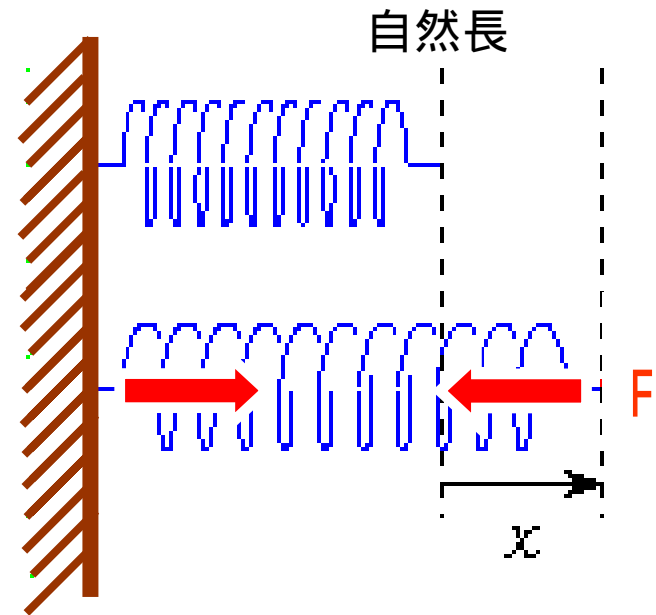
接触面	摩擦係数
木材と木材	0.25~0.50
金属と金属	0.30~0.80
プラスチックとプラスチック	0.10~0.30
金属とプラスチック	0.10~0.20
ゴムとコンクリート	0.60~0.70
骨と金属	0.10~0.20
軟骨と軟骨	0.001~0.002

* おおよその範囲なので静止摩擦係数と
動摩擦係数を区別していない
(Nihat O , Margareta N , 2001 , 改)

3-5 弾性力

弾性力 (elastic force)

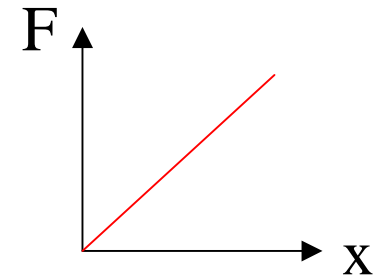
- 伸びているor縮んでいる物体が，その先端(両端)に及ぼす力



フックの法則

- 弾性限界内では，弾性係数をkとすると変位xは外力Fに比例する

$$F = kx$$



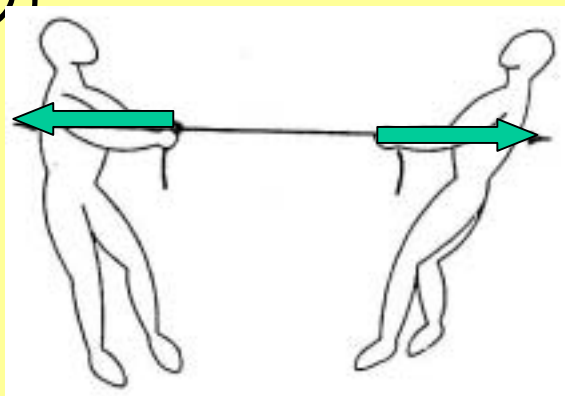
弾性係数

- 同質の材料における弾性係数は断面積に比例し，長さに反比例する

3-6 力系の分類

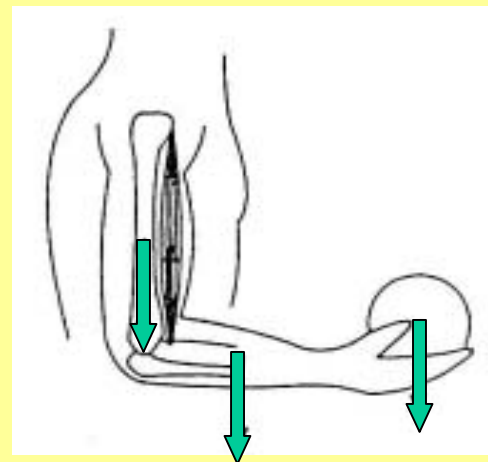
共線的 (collinear) 力系

- ・ 力の作用線が共通な力系
- 例) 綱引きのときの綱に作用する力



平行的 (parallel) な力系

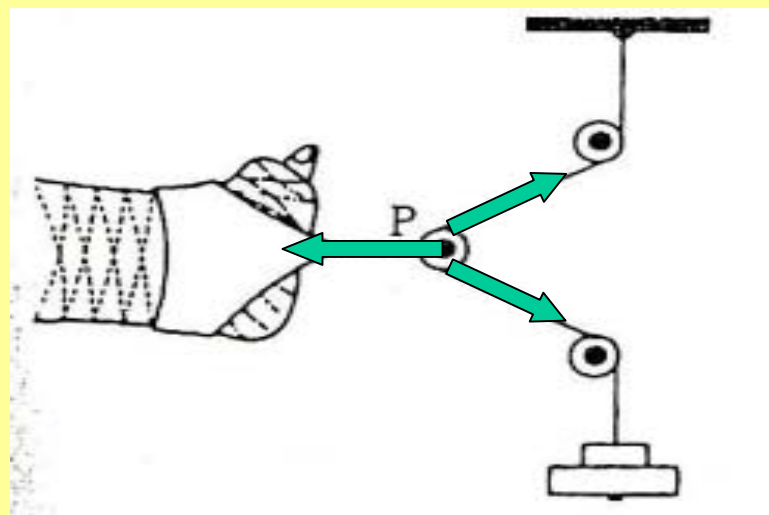
- ・ 力の作用線が互いに平行である力系
- 例) ひじを直角に曲げ物体を持っている腕



共点的 (concurrent) な力系

- ・ 力の作用線が共通の交点をもつ力系
- 例) けん引装置

(おもりの重量により、ケーブルは伸び、力はプーリと脚に作用する。
脚に作用する力は、脚を水平に保つ)



4.剛体 (rigid body)

剛体 (rigid body)

- 外部からの力の作用によって変形しない物体
(近似的な概念であり，現実には完全な剛体は存在しない)

剛体リンクモデル (rigid link model)

リンクセグメントモデル (linked segment model)

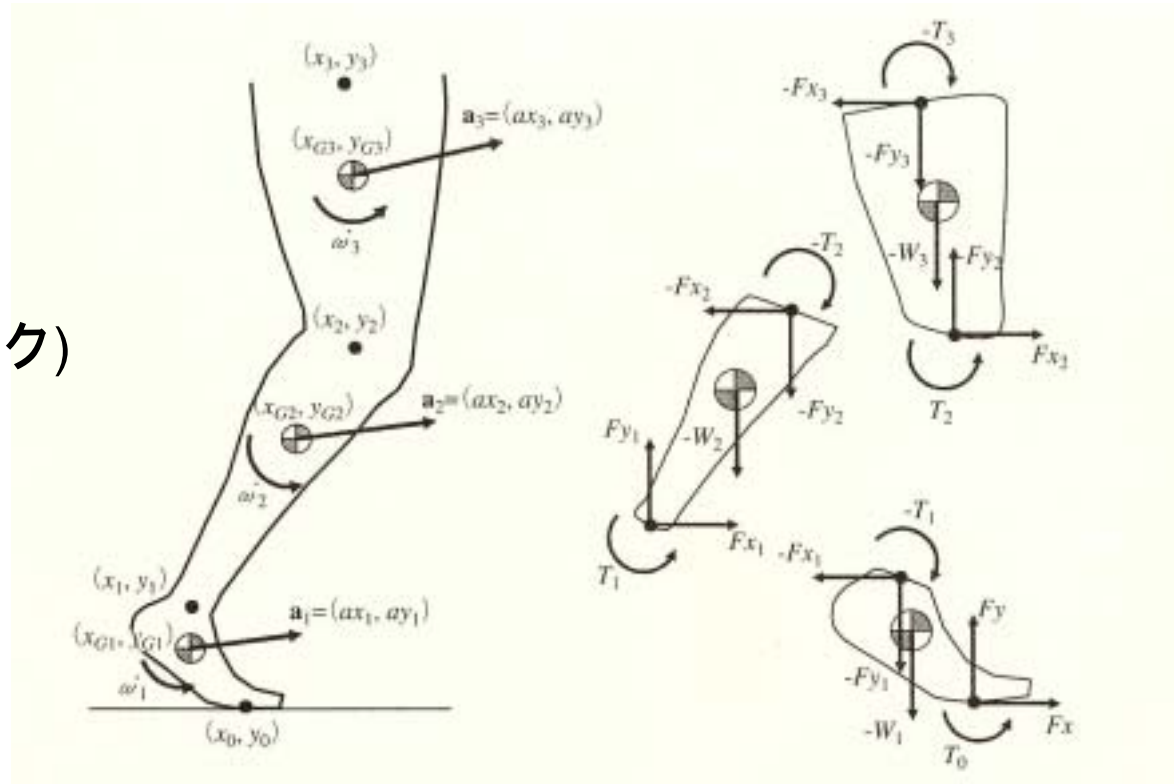
- 身体をいくつかの関節で分割し，各部分を剛体として近似したモデル

5. フリーボディーダイアグラム

(自由体図)

FBD (free-body diagrams)

- 身体に作用する力やモーメントのベクトルを図示したもの
- 剛体分節ごとのFBDから運動方程式を導出することによって、各分節に作用する力や力のモーメント(関節トルク)を推定できる



疾走中の支持脚のFBD (阿江・藤井, 2002)

6. 静力学

静力学

- 平衡状態にある剛体の解析に関する応用力学の一分野

平衡 (equilibrium)

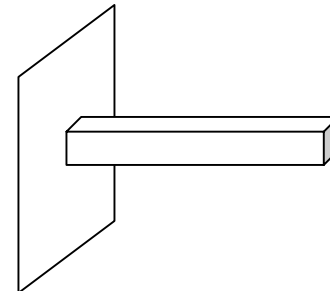
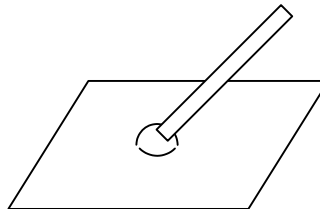
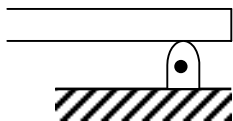
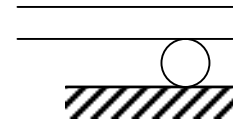
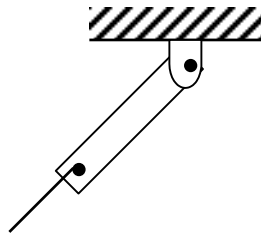
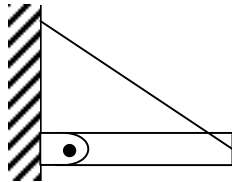
- 物体の加速度がゼロである状態
 - 1) 速度がゼロ = 静止(rest) / 静的平衡状態(static equilibrium)
 - 2) 等速運動中
- 平衡の条件
 - 1) 並進平衡(translational equilibrium) : 物体に作用する力の和がゼロ
$$\sum F = 0$$
 - 2) 回転平衡(rotational equilibrium)
: 物体に作用するモーメントの和がゼロ
$$\sum M = 0$$

7. バイオメカニクスにおける力

力の種類

- 筋力, 関節間力etc (内力)
- 床反力, 摩擦etc (接触力)
- 重力etc (非接触力)

関節の構造

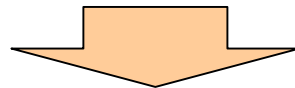


スポーツにおける平衡

・動きの良し悪しの評価...「バランスの良さ」「姿勢の安定性」など

- バランス 平衡
- 安定性 動作後, 平衡な状態または元の位置に戻ろうとする能力

例) 体操競技, 柔道・球技(対戦相手のバランスを崩す)



安定な姿勢

位置エネルギーが小さい

重心を低くする

支持点と重心を結ぶ軸が地面と垂

