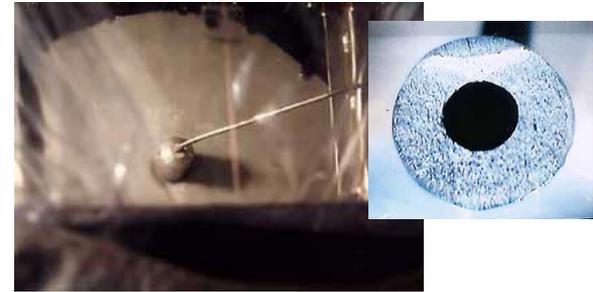


機械と力



機械の破壊事故(上から一尼崎列車脱線、
もんじゅ温度計折損、狩俣風力発電倒壊)

概要

機械・設備にかかる力: 制止しているものには荷重(含む、自重)で各部品に力がかかっている。さらに動いている機械では加減速、慣性で各種の力が加わる。これらの力は**ニュートン力学**による法則に従う。機械部材の強度はそれに耐えるように材質、太さ・厚さなどが設計されている

力とは: 物体を変形させたり、物体の運動状態を変化させるもの。
単位は**ニュートン(N)**。1N=1kgの重さを支える力/9.8

物体にはたらく**力**を図示するには**向きと大きさ**を示す「**矢印**」を用いる。これを**ベクトル**という

力の3要素	ベクトルの向き = 力の向き
	ベクトルの長さ = 力の大きさ
	ベクトルの始点 = 力の作用点

力の種類:

基本的な力—引張力、圧縮力、せん断力
その他の力—曲げ力、振り力、慣性力、摩擦力、遠心力、電磁力、重力(万有引力)、浮力、揚力、抗力

物体に力が作用すると力の方向に**加速度**がかかり**速度**が変化する

速度=大きさと方向を持つベクトル
速さ=量的な大きさのみを示す

応力: 力を受ける部材の内部には**応力**が生じる

$$\text{応力} = \text{力} / \text{断面積}$$

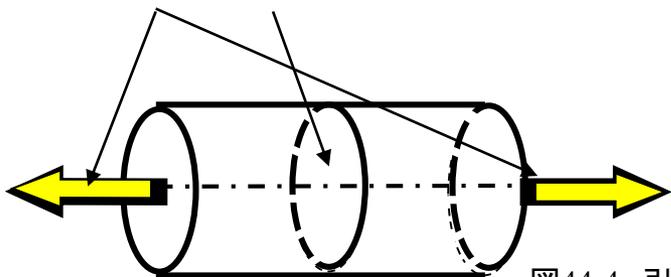


図44-4 引張応力

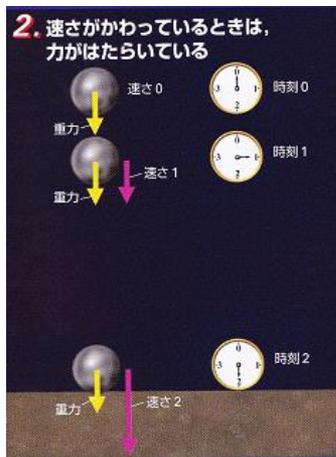


図44-2 重力加速度



図44-3 作用・反作用

ニュートン力学が土台となる**3法則**: ①

慣性の法則: 力を加えない限り、静止した物体は静止状態を保ち続け、運動していた物体はその速度を保って同じ速さでまっすぐに進みつづける

運動方程式: 力=質量x加速度

作用・反作用の法則: 物体Aが別の物体Bに力(作用)をおよぼすとき、物体Bも物体Aに大きさが等しく向きが正反対の力(反作用)をおよぼす

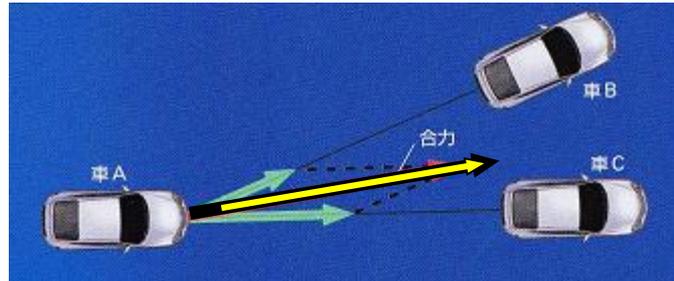
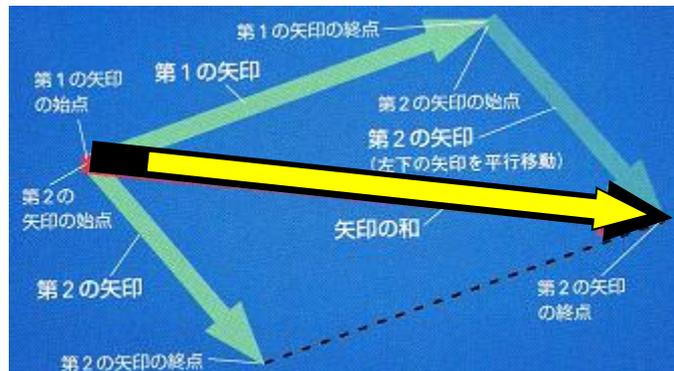


図44-1 力の合成と分解 ①

引張力

引張力: 棒状あるいは紐状の部材を伸ばそうとする力

部材に引張力がかかれば内部に引張応力が生じてその力に耐える。部材にはその材質の特性(縦弾性率E)に応じて伸び変形が生じる

$$\text{伸び率} = E / \text{応力}$$

応力が増大して一定の応力を超えると引張破断を起こす

引張力に耐える機械の強さ = 引張応力

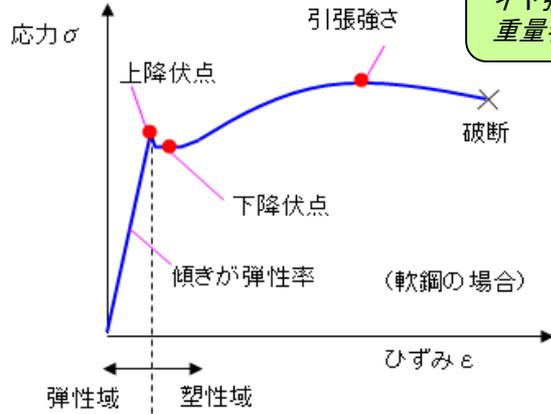


図44-5 応力ひずみ線図

滑車の両側のワイヤ張力の和で重量物を用いる

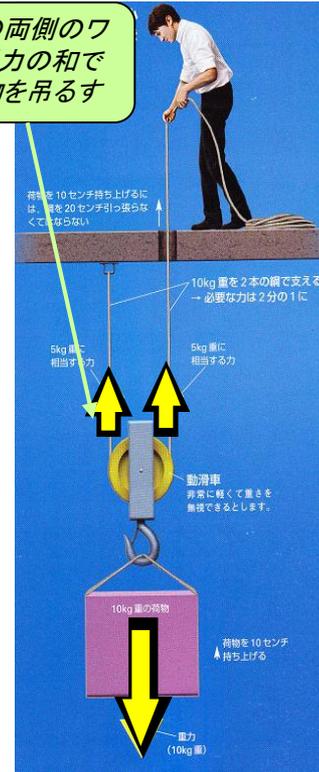


図44-6 滑車での力の釣合い

ワイヤにかかる張力の合計で重量物を用いる

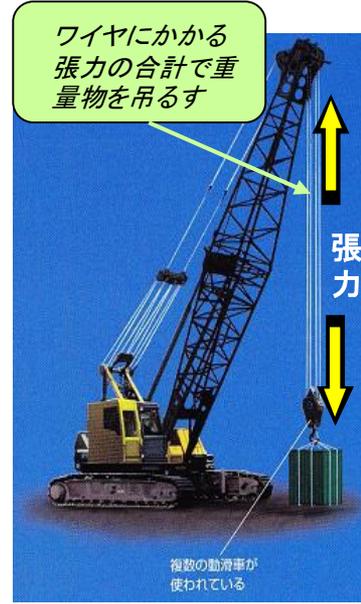


図44-7 クレーンワイヤ①

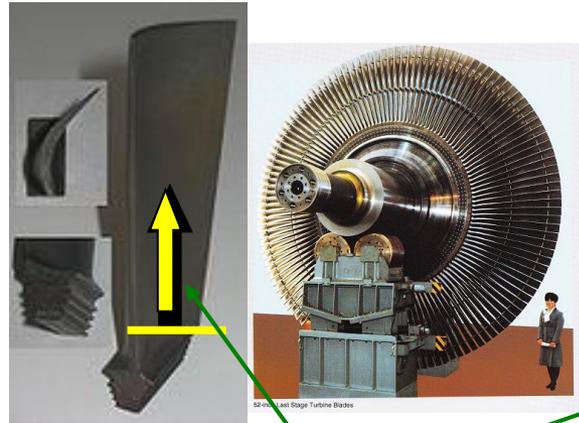


図44-10 タービン翼 (東京電力)

翼本体の遠心力が引張力として根本部にかかる

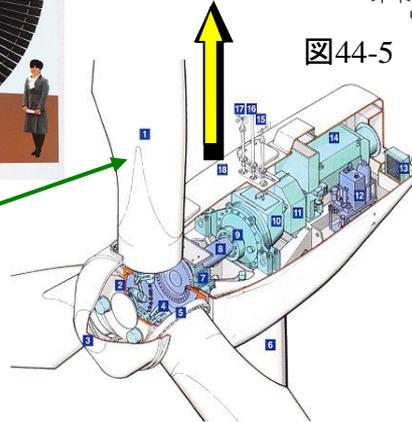


図44-11 風力タービン翼 (MHI)

数字は張力の比率を示す

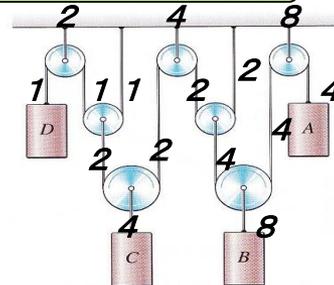


図44-8 複雑な滑車の力④

ワイヤ張力で橋の荷重を支える



図44-9 斜張橋

他に引張応力を発生させる機器: ボルト、チェーン、高圧タンク、車両連結器、ボイラドラム、航空機胴体

圧縮力

圧縮力: 軸・梁状の部材の両端から中央に向けて押す力。
部材の耐えられる応力を超える過大な圧縮力には「**挫屈**」を生じる。コンクリート部材は一般に圧縮荷重対応

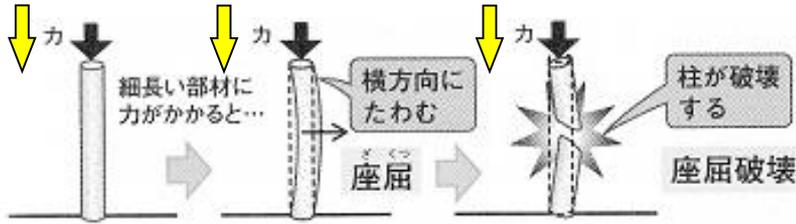
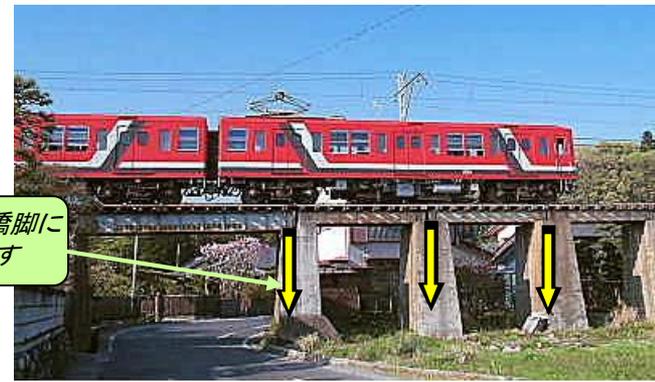


図44-12 挫屈と破壊



車両の移動荷重は橋脚に変動圧縮力をもたらす

図44-14 鉄道橋の橋脚 (日立電鉄)

③ 圧縮力に耐える機械の強さ=圧縮応力

ボルト締めで、ボルトには引張力が、板には圧縮力がかかる

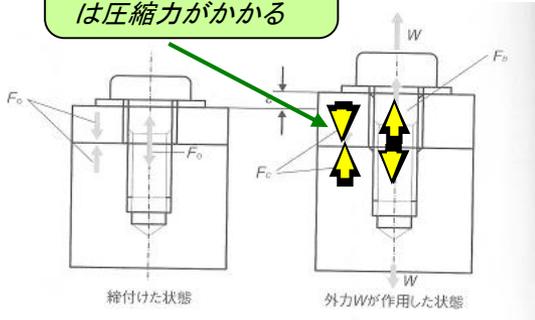


図44-13 ボルトによる締付け

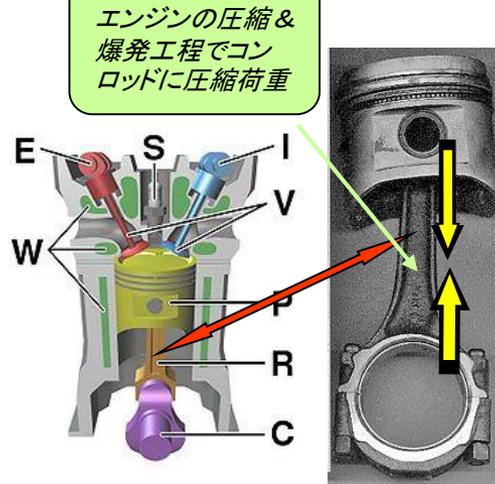


図44-15 コンロッド (Wikipedia)

着陸接地の瞬間に機体重量と衝撃力がかかる

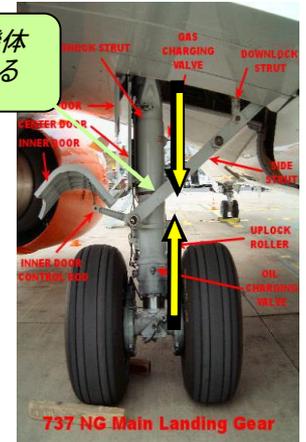


図44-16 航空機の主脚

他に圧縮応力を発生させる機器: 高層ビル下層の柱、基礎杭、トラス部材、いす、プレス機械、油圧シリンダー

垂直抗力: 面に力を加えたときその反作用として発生する受ける面に垂直な力 [自然に発生するものでくに利用分野はない]

撃力: 運動している物体が衝突の際にごく短時間に相互に作用する接触力 [利用分野: **パイロハンマー**、**シャルピー衝撃試験機**など]



図44-17 抗力 ①

振り力・トルク

トルク: 物体を回転させようとする**振り力**の働き。この軸の中心から力の作用点までの長さを「腕の長さ」という。振り力は力の大きさ(単位N)と腕の長さ(単位m)の積となる。SI単位ではニュートンメートル(N・m)。軸動力の場合はトルク×rpm→kW

せん断力: 物体内部で**ずれ**を生じさせる力。平行で逆向きの2つの力(**偶力**)によって部材内のある断面にすべりやずれが生じる(鉄や地震の断層)

振り力に耐える機械の強さ=せん断応力

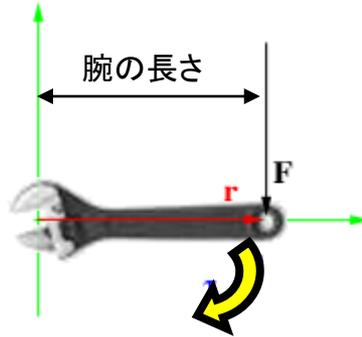


図44-19 モンキーレンチにかかるトルク関係

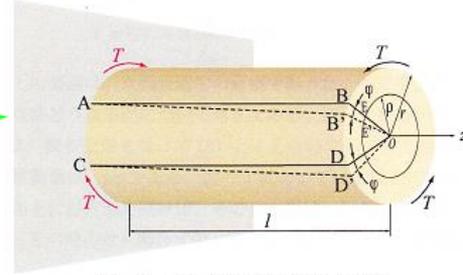


図-1 トルクTで振じられる丸軸

中心軸から外周部に向かって半径に比例してせん断応力が増加

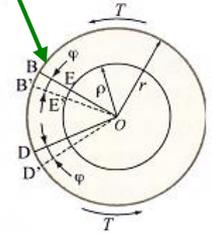


図-2 軸に垂直な断面の様子

図44-18 軸の振り

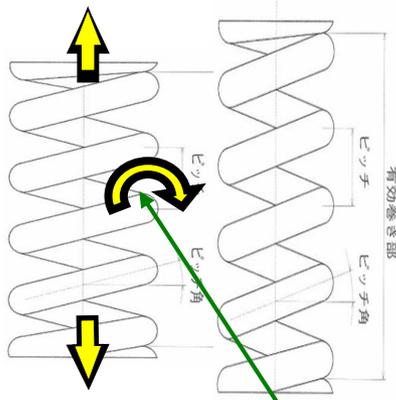


図44-20 つるまきバネの伸び

バネの伸び、縮みには素線に振り応力を発生させる

タービンの発生トルクは圧縮機に伝達



図44-21 過給機タービン軸 (IHI)

自動車エンジンの回転力はプロペラシャフトを介して車軸に伝達

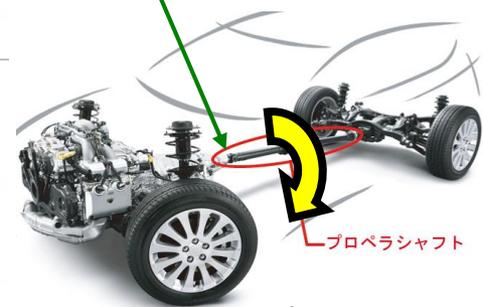


図44-22 自動車プロペラシャフト

歯車噛み合部の接線力で歯車軸にトルクを伝達

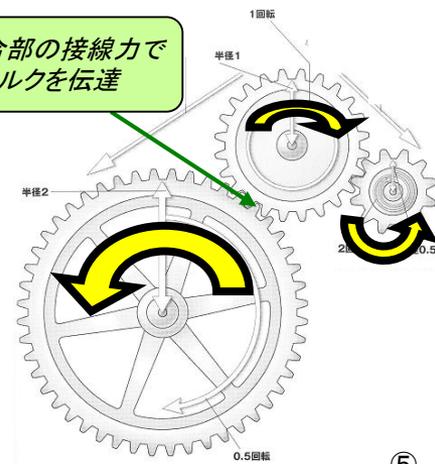


図44-23 歯車の動力伝

他に振り力を伝達する機器: ドライバー(工具)、工作機械主軸、キー、コッター、スプライン、フランジカップリング、ファン・圧縮機の軸、モーター軸

曲げ力

長尺の棒、梁、板に曲げモーメントの荷重がかかるとその部材に曲げ応力が発生する

橋桁では2つ以上の支点と移動荷重により曲げモーメントが生じ、主桁内部の上側に圧縮応力が、下側に引張応力が発生する

トラス橋は棒状の部材を三角形に組み合わせ交点をピンで結ぶトラス構造を用いた橋。トラス部材には軸力(圧縮力または引張力)のみが作用する。ラーメン構造ではこれらの部材に曲げモーメントが加わる

トラス部材の引張、圧縮力で曲げ力に耐える

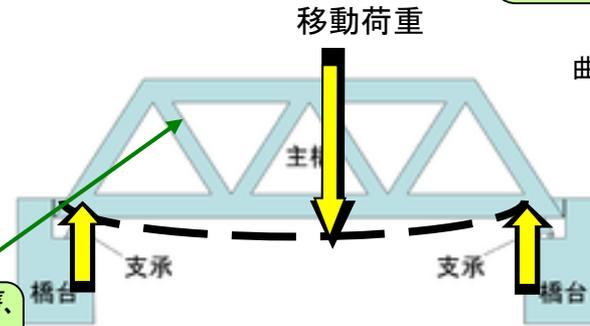


図44-26 橋梁にかかる曲げ力の例

曲げの外側は引張、内側は圧縮となる。外縁部で応力は最大

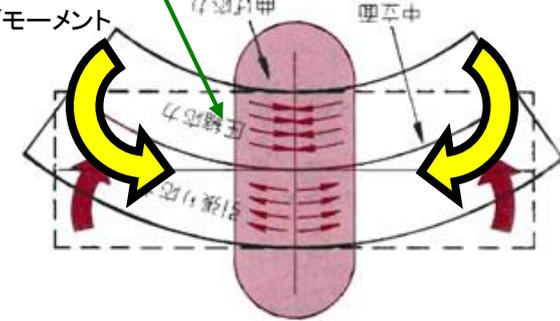
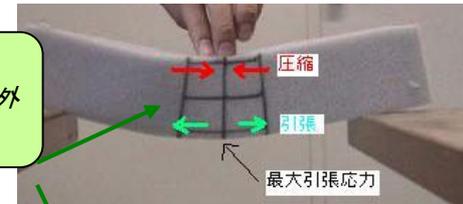
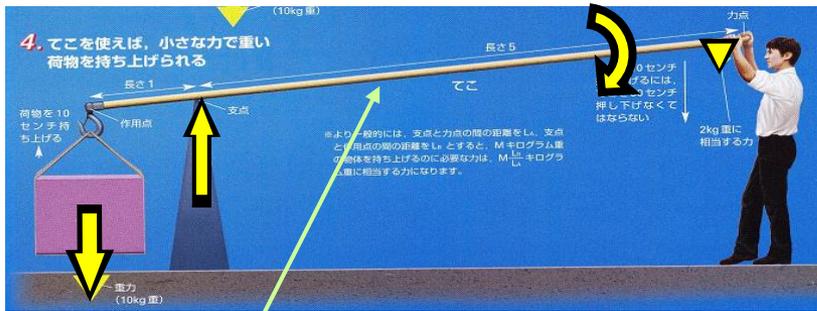


図44-24 曲げモーメントにより発生する応力

曲げ力に耐える機械の強さ=引張/圧縮応力



錘+人の力と支点での反力で曲げ力が発生

図44-25 てこ ①



図44-27 フォークリフト



風を受ける力で翼は根本に、支柱は基部に曲げ力を受ける

図44-28 風力発電装置翼・支柱

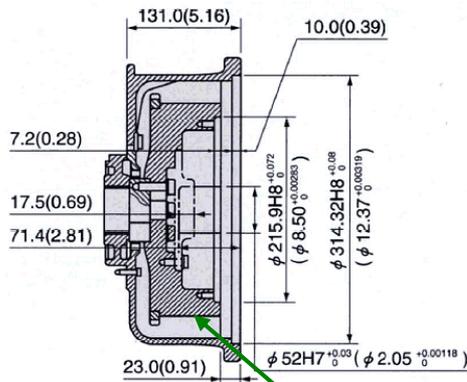
他に曲げ力を発生させる機器: 機械加工用バイト、クレンフック、航空機翼-胴体接続部、歯車歯元、コンテナクレーン腕、荒天時に波の力をうける船体、鉄道車両台枠、油圧シャベル

慣性力

慣性力: 加速、減速する物体にかかるその速度変化に抵抗する荷重。回転速度の加減速、速度の向きの変更においても同じ。水力発電のタービンは水の慣性力を利用している

慣性力の大きさ = 物体の質量 × 加速度 (または減速度)

慣性力を付加する - 運動方向に力がかかる
 慣性力を抑える - 運動の逆方向に力がかかる



フライホイールの回転慣性力がエンジンの回転振動を抑える

図44-31 自動車エンジン軸のフライホイール (kubota)

クランクシャフトのバランスウェイトの慣性力がエンジンの回転振動を抑える



図44-30 回転力振動の慣性ウエイト

回転慣性力の大きなフライホイールが回転エネルギーを保持し、停電時に発電・送電する

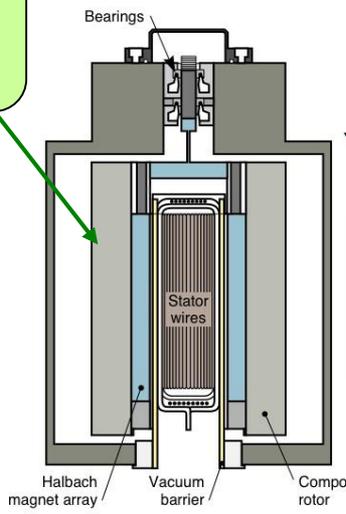


図44-32 Flywheel battery



図44-29 車両の加減速と乗客にかかる慣性力 ①

錘の慣性力で杭を打ち込む

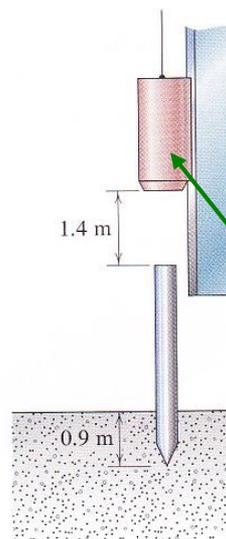


図44-33 杭打ち機 ④

他に慣性力を発生・制御する機器: 鉄道車両の電力回生ブレーキ、免震装置、ジャイロ스코プ

摩擦

摩擦: 二つの物体が、接触している際に、その接触面内にはたらいて動きに抵抗する力

机の上の静止物体を水平に引張る時、引張力がある程度の大きさになると物体は動き出す。物体の運動を妨げようとするこの抵抗力を静止摩擦といい、動きはじめる瞬間が最大になる。この最大の摩擦力を**最大静止摩擦**という

静止摩擦 = 静止している物体にはたらく摩擦

動摩擦 = 相対的に動いている物体にはたらく摩擦

ころがり摩擦 = 転がっている物体にはたらく摩擦

接触面に発生する力の強さ = 摩擦係数

摩擦は固体同士とは限らず、相対的に高速で動く物体と流体の間でも生じてる (航空機、新幹線、高速船、管内高速流)

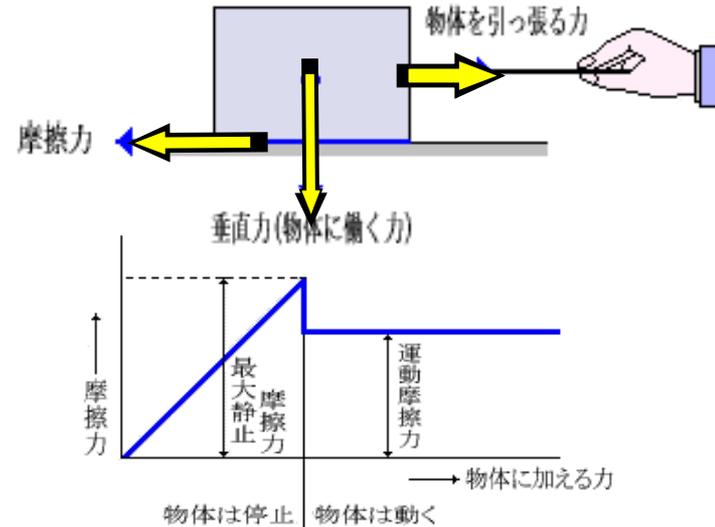


図44-34 摩擦の特性

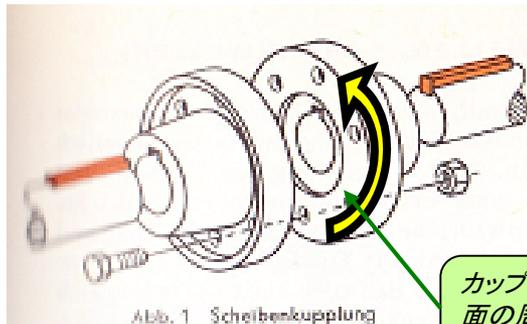


図44-35 フランジカップリング

カップリング合わせ面の周方向摩擦でトルクを伝達

回転軸と軸受の間に接線方向の摩擦が発生。間の油膜で摩擦を軽減

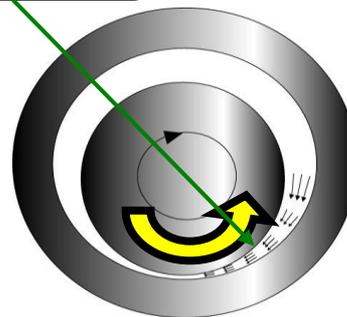


図44-36 すべり軸受

ブレーキディスクの両側からパッドを押し付け、摩擦で回転を止める

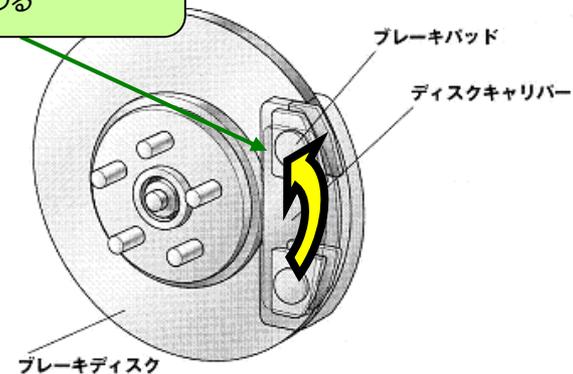


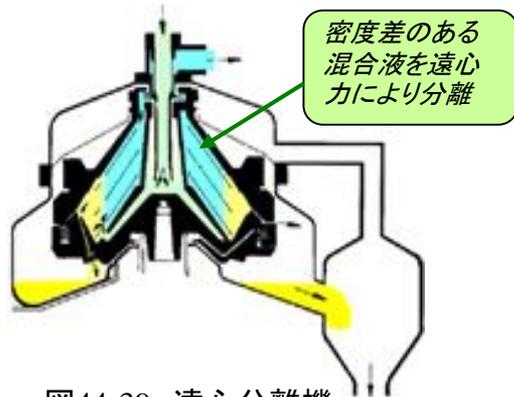
図44-37 車両の摩擦制動⑤

他に摩擦力を発生させる機器: 鉄道・自動車のタイヤと路面、エンジンのシリンダとピストンリング、摩擦抵抗溶接、Vベルト

遠心力・向心力

遠心力: 回転運動、曲線運動をする物体が回転中心から外側に向かう力

向心力: 物体を曲線(含む円)軌道で動かす力その方向は曲線の中心に向かう。一般に遠心力と向心力はつりあう。物体の速度、質量が大きい程、また曲率半径が小さいほど遠心力・向心力は大きい



密度差のある混合液を遠心力により分離

図44-39 遠心分離機 (GEA)



車両の遠心力の反力として軌道から車両に向心力が作用

図44-40 ジェットコースター

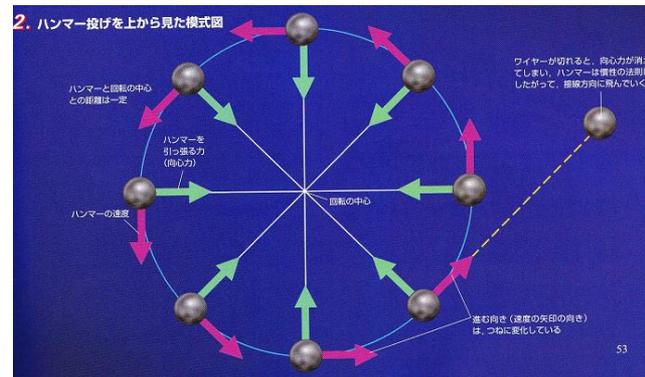


図44-38 ハンマー投げにおける遠心力と向心力

カント無し

カント有り

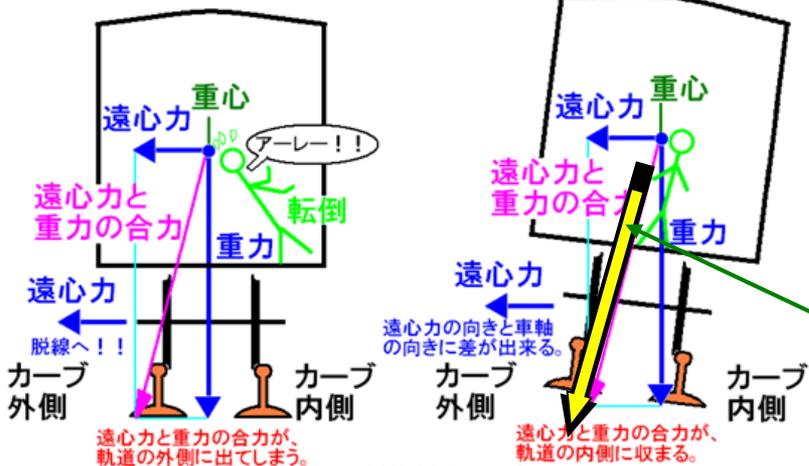


図44-41 鉄道線路のカント

中空の鑄型を回転させ、内周部に熔融鉄を遠心力で貼り付け固化する。高品質の鑄物ができる

カント(カーブ外側のレールを内側より高くする)をつけて遠心力による脱線を防止



図44-42 遠心力鑄造(新日本工機)

他に遠心力を発生させる機器: 風力発電の翼、タービン動翼・ディスク、遠心ポンプ

熱膨張による力

部材は環境温度の変化で伸縮する。自由な伸縮を拘束するように固定された部材は内部に引張力あるいは圧縮力による応力を発生する。これによる障害が発生しないような工夫が必要となる

モノの両端が固定されている場合、このような応力が働く。

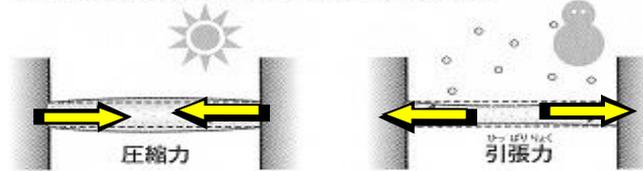


図44-43 温度変化によって発生する応力 ③



高温蒸気を通して配管が熱膨張する部分に配置

図44-45 伸縮管継手 (日本伸縮管)

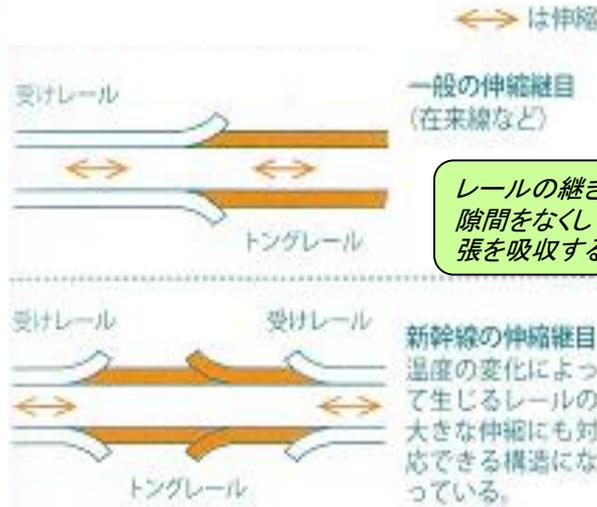


図44-46 ロングレールの継ぎ目 ③

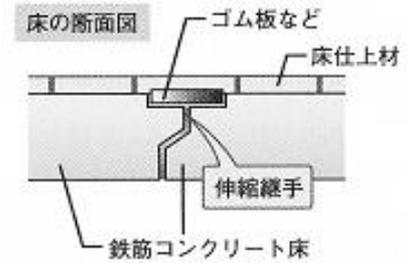
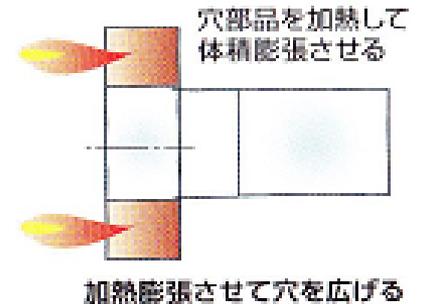


図44-44 建物における工夫 ③



加熱膨張させて穴を広げる

図44-47 焼嵌め

他に熱膨張による力を利用した機器: ボルトの加熱締め付け

その他の力

電磁力: 電流が流れている導体を磁界中に置くと、電流・磁力線と直交する方向に電磁力を受ける [利用分野; 電動機、発電機、計器、リニアモータ、電磁推進船など]

弾性力: 物体が変形したとき元に戻ろうとして引張ったり、押ししたりする力 [利用分野; ばねなど]

浮力: 流体の中にある物体に作用する重力とは反対向きの力。大きさはその物体が排除した体積に相当する流体の重量に同じ [利用分野; 船(水面下の部分)、潜水艦、ふい、気球、飛行船など]

揚力: 流体とそこにある物体に速度差があるとき、板や翼にはたらく相対的な流れの方向に垂直な力 [利用分野; 航空機(主翼・尾翼)、タービン翼、ヨット、風力発電装置、水中翼船など]

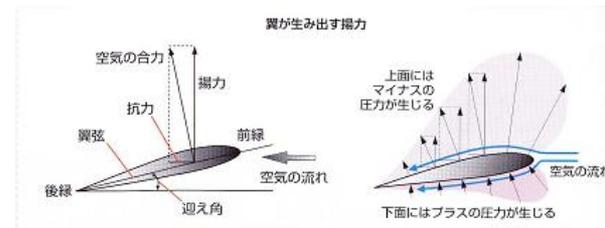


図44-48 航空機翼の揚力 ⑥

保守・検査

定期的な整備検査: 荷重のかかる部材は長時間使用しているうちに変形、クラック、磨耗、破壊等の損傷を生じる可能性がある。これらの機能劣化をきたす前に定期的な保守、検査、補修、交換などが必要

航空機の定期整備検査では毎飛行前、600 *飛行時間毎、6000 *飛行時間毎、5 *年毎などと段階を決めて点検内容を規定している(*印の具体的な時間間隔は機種、航空会社によって異なる)

非破壊検査: 部材をキズつけたり、破壊させたりしないで、それらの性質、表面状態、内部状態、内部欠陥を調べる検査

クラック・破断: 応力、温度、繰り返し荷重などが部材の材料特性の限界を超えた状態となると部材には表面、内部に損傷を生じ、やがて破損に至る。**延性破壊、脆性破壊、疲労破壊、クリープ破壊、応力腐食割れ破壊**などがある

安全率: 機械部材の材料の許容下限界応力に対して実際にかかる応力は余裕を持たせる設計とする。その目安が安全率

表44-1 各種の非破壊検査

検査種類		欠陥の検査対象	被検査対象
表面欠陥	目視 VT 浸透探傷 PT	表面の状態、キズ	機器、構造物、金属、非金属
	磁粉探傷 MT	表面、表面直下のキズ	強磁性材料
	電磁誘導 ET	微小なキズ	通電性の材料
内部欠陥	放射線透過 RT 超音波探傷 UT	内部のキズ	金属、非金属、溶接部
その他	超音波厚さ UT	片面から厚さ測定	素材、機器、構造物
	ひずみ測定 SM	表面のひずみ	金属の構造物
	音響 AET	構造物の健全性診断	各種材料、地すべり
	赤外線	表面の温度分布	高温設備、タイル剥離

表44-3 安全率の目安の例 ③

材料	加重条件	動荷重	静荷重	
			繰返し	衝撃
鋳鉄		4	6	15
軟鋼		3	5	12
銅合金		5	6	15
木材		7	10	20
コンクリート		20	30	30

摩擦面の損傷: 相対的に運動する部材の摩擦面には作動環境によって各種の損傷が発生しやすい

表44-2 主な摩擦面の損傷

損傷	おもな原因	対策
磨耗	異物の侵入、さびの進展、潤滑不良	荷重、すべり速度、取付方法、潤滑システム、機械の輸送などによる損傷原因の除去・改善
焼付き	潤滑不良、過大荷重、すべり速度過大	
かじり	過大荷重、異物かみこみ、潤滑不良	
片当り	工作・組立精度不良	
腐食	水・腐食性物質の浸入、潤滑剤不適	

課題

構造物の強度	建築物の高層化、地球気象の激化(強大台風、地震、大雨など)、設備の大型化、機械構造の複雑化に伴い、大事故防止のために構造物の安全設計には最新の安全予測の手法を活用して大災害予防のため細心の注意が払われねばならない
応力腐食割れ(SCC)	ステンレス鋼などの錆び難い材料で引張応力と腐食環境の相互作用で材料に亀裂が生じ、その亀裂が時間とともに進展する現象で、発電用原子炉配管系に1970年代から見られるようになった。SCC早期発見のための超音波探傷検査、低炭素のステンレスにMoなどを添加した耐食性のある材料などの開発、その他種々の対策がとられるようになっている
有限要素法(FEM)	実際には複雑な形状・性質を持つ物体を、単純な形状・性質の小部分(要素)に分割し、その1つ1つの要素の特性を数学的な方程式を用いて近似的に表現した後、その解を連結して全体の挙動を予測しようとするもの。コンピュータの高速・大容量化の進歩に伴って複雑な構造の強度解析が可能になってきている。FEMの発展は流体力学、電磁気学など他工学の分野に広まっている

キーワード

ばね定数	コイルばねやリーフばねに荷重を加えたとき、一定限度内で荷重に比例して変形(伸びあるいは縮み)を起こす。この比例値(伸び/荷重)をばね定数という。限度を超えた荷重はばねは塑性変形を生じて永久変形を残す
応力集中	一定の断面形状をした部材の一部にくぼみや切欠きがある場合、応力はその断面に一様に分布するのではなく、切欠き等の先端部に集中し、その点を起点として破損しやすくなる
重量と質量	質量は引力の作用の有無にかかわらず存在する「物質のもともとの量」で、SI単位はkg。重量は地球が物体を引きつける力(万有引力)で、SI単位はN(ニュートン)。地球上では重力加速度gは9.8m/s ² であり、質量1kgの物体は9.8Nの重量を示す(通称「1kg重」という)
仕事と動力	工学でいう 仕事 とはロープで重量を引き上げる場合のように力(重力N)とその距離(m)を掛け合わせたものでエネルギーの単位(Nm=J)。 動力(パワー) はその仕事をどの程度短時間で成し遂げるか(1/s)で、単位はJ/s=W
スカラーとベクトル	ベクトルは力と同じ3要素をもつ物理量(力、速度(速さとは異なる)、変位、運動量、トルクなど)。スカラーは量を表す物理量(質量、長さ、速さ、面積、体積、エネルギーなど)。ベクトルのように方向性、作用点などはない

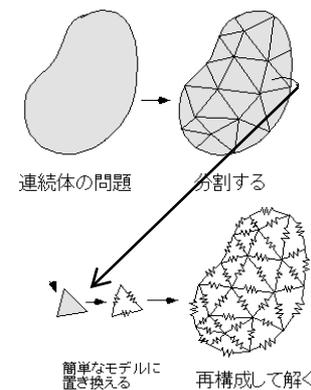
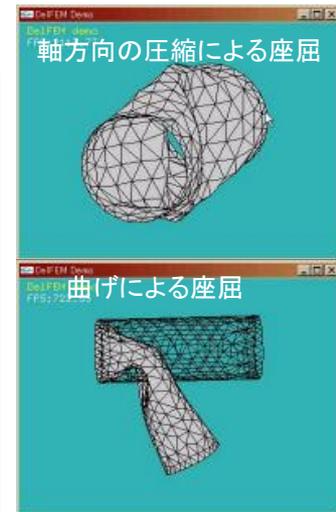


図44-49 有限要素法の基本概念 (室蘭工大)