

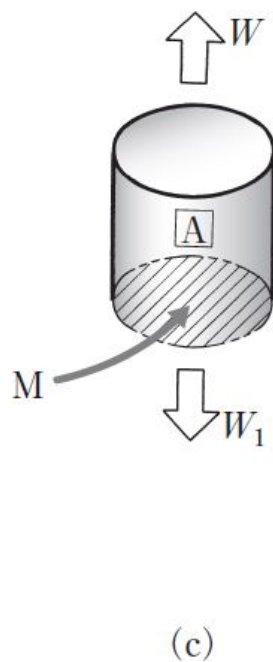
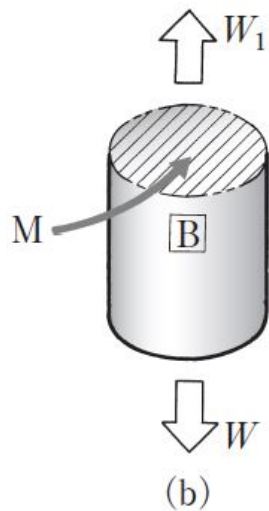
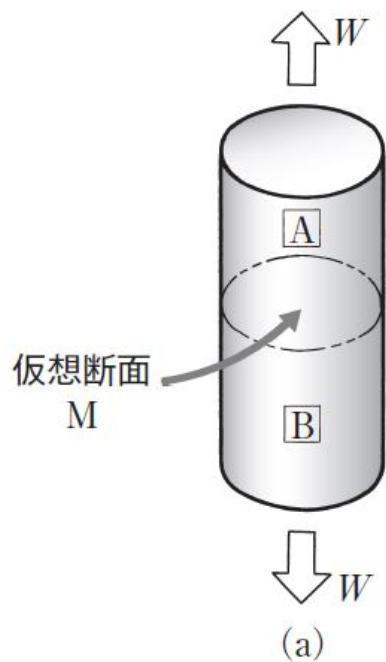
第3章 材料の強さと使い方

3.1 材料の機械的性質

3.1.1 引張荷重・圧縮荷重と変形

外力: 外部から作用する力
荷重: 材料側から見た外力

材料を引っ張る力: **引張荷重**
材料を押し付ける力: **圧縮荷重**



内力:
材料内部に生じる力



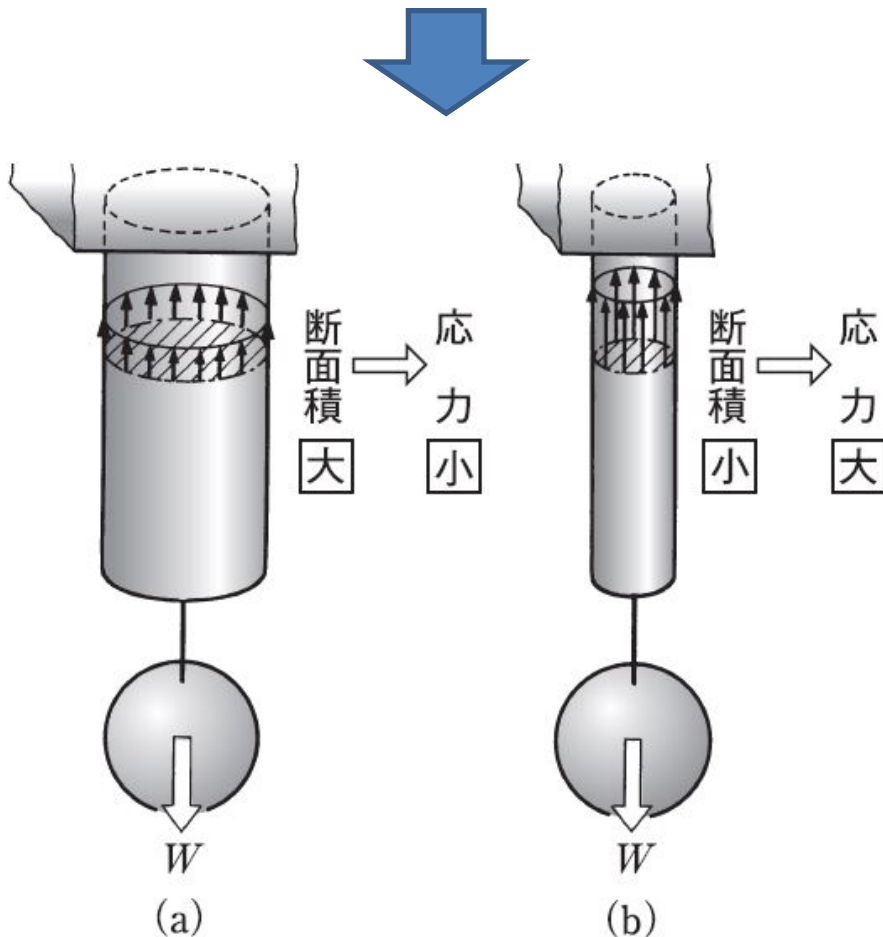
外力とつり合っている
(破壊前)

応力：単位面積あたりの荷重

$$\sigma = W/A \text{ (MPa)}$$

W : 荷重 (N)、 A 材料の断面積 (mm^2)

荷重の負担度合、材料の強さを表すことができる



引張荷重によって生じる応力

引張応力

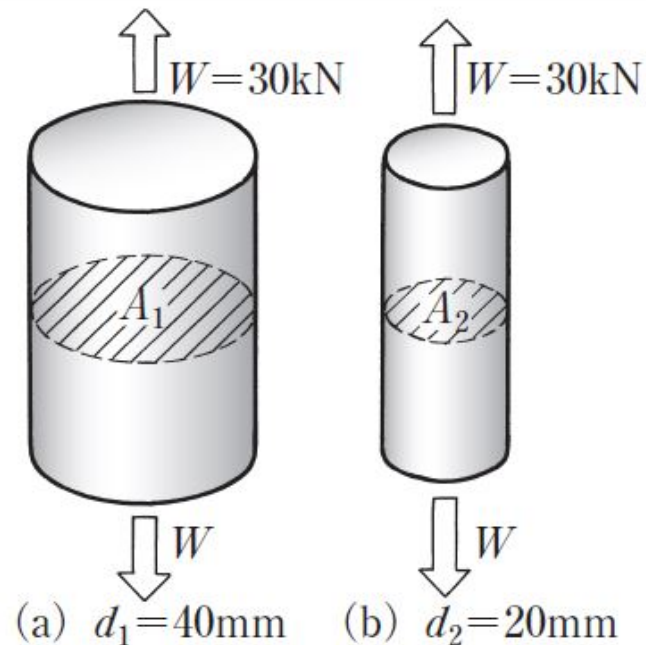
圧縮荷重によって生じる応力

圧縮応力

垂直応力：断面に垂直な方向に生じる応力

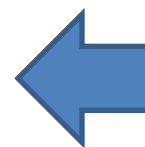
例題 1

図のように、直径 $d_1 = 40 \text{ mm}$ と $d_2 = 20 \text{ mm}$ の丸棒の軸方向に、ともに $W = 30 \text{ kN}$ の引張荷重が作用したときに生じる引張応力 σ を求めよ。



例題 1 の図

円柱の断面積を求める
荷重を断面積で除す
答えが応力



単位の換算を
間違えないこと

ひずみ：単位長さあたりの変形

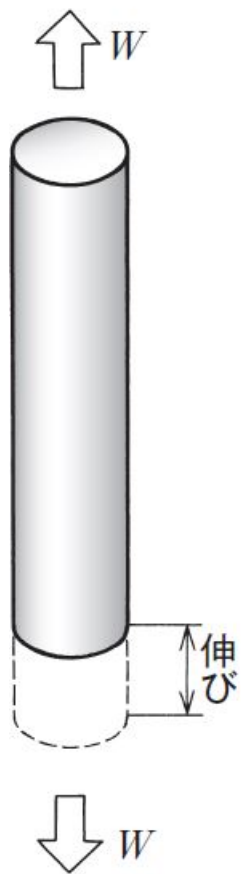


同じ荷重でも材料の長さによって
変形の大きさが異なる

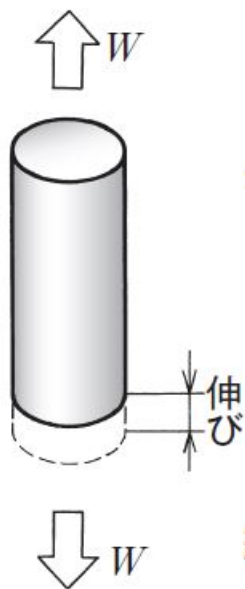
$$\varepsilon = \Delta l / l$$

Δl : 変形量
 l : 材料の長さ

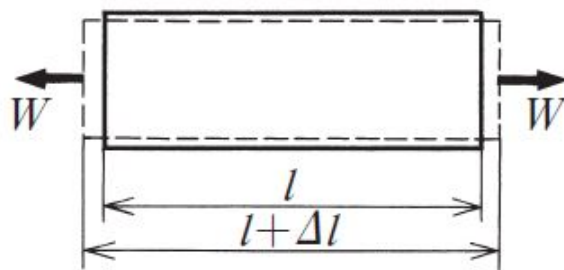
縦ひずみ：荷重方向のひずみ
横ひずみ：荷重方向に垂直方向
のひずみ



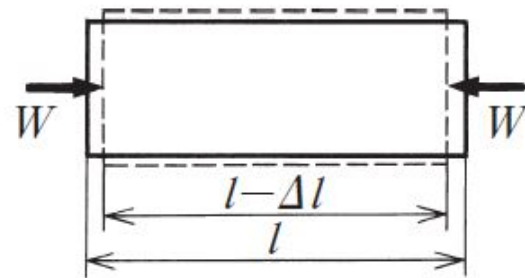
(a)



(b)



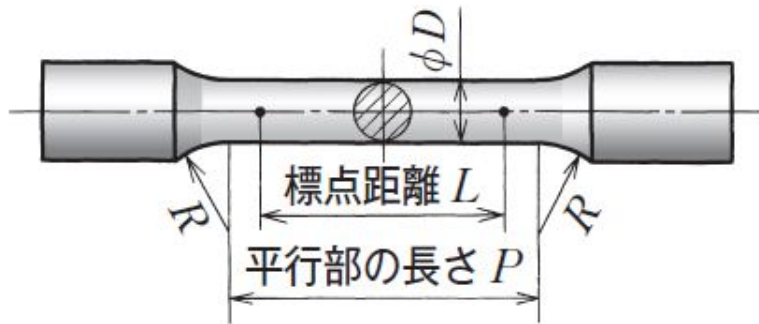
(a) 引張変形



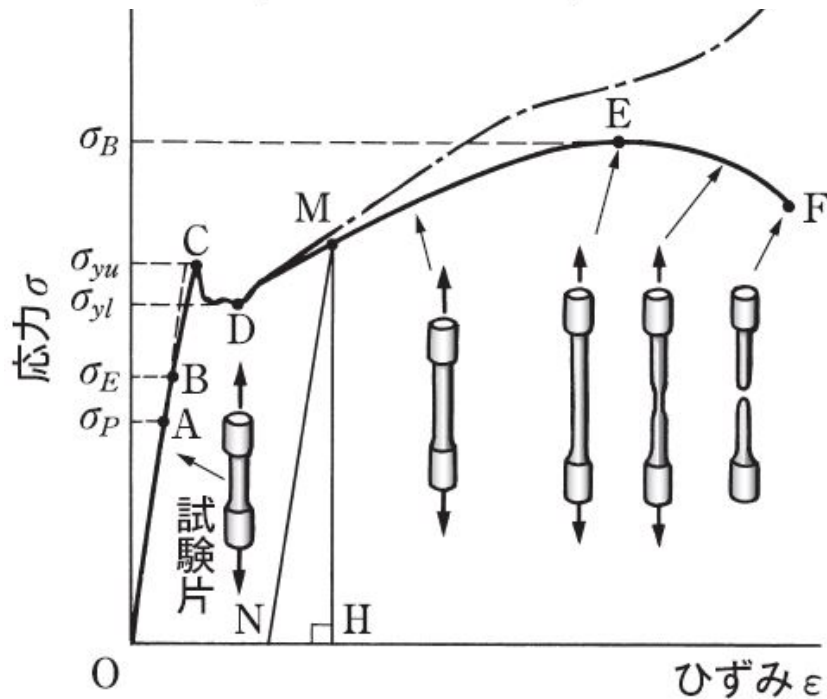
(b) 圧縮変形

応力とひずみ

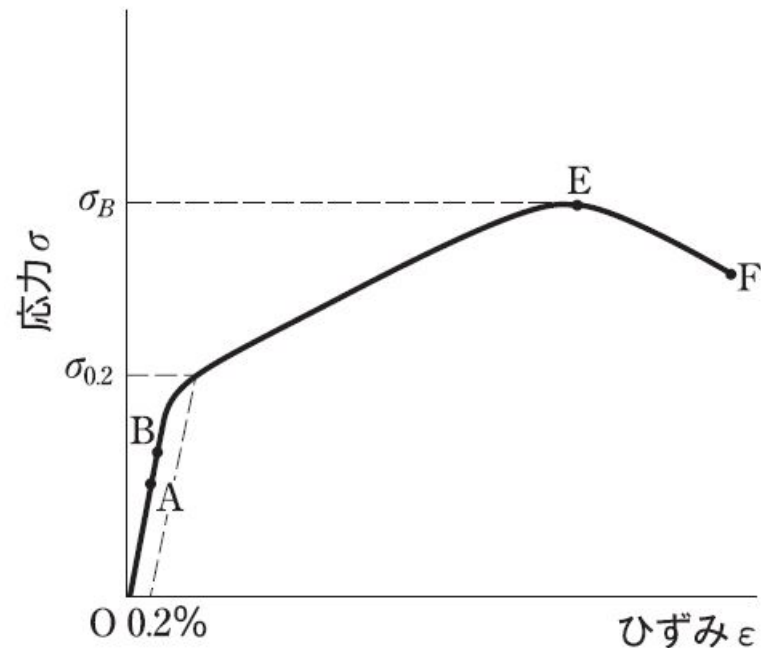
材料の引張破壊試験 → 応力-ひずみ線図が得られる



試験片の状態(形状)とひずみの関係は、下図(a)のようになり、細くなって、最終的には破断する



(a) 軟鋼の応力-ひずみ線図



(b) アルミニウムや黄銅などの応力-ひずみ線図

応力-ひずみ線図における重要項目

比例限度: 応力とひずみが比例する限界点Aの応力 σ_p

弾性限度: 材料が**弾性変形**をする限界点Bの応力 σ_E

弾性ひずみ: 男性限界までのひずみを

永久ひずみ: 男性限界を超えたあとのひずみで、除荷しても元に戻らないひずみ

塑性: 永久ひずみが生じる材料の性質いい, その変形を**塑性変形**という。

降伏: おもにひずみだけが増加する現象

降伏点: 降伏が起こる応力 応力 σ_{yu} を**上降伏点**、応力 σ_{yl} を**下降伏点**という。降伏点がはっきり現れないアルミニウムや黄銅などの材料では、**0.2%の永久ひずみ**を生じたときの応力をもって降伏点としている。この応力を**耐力**といい、 $\sigma_{0.2}$ のように表す

極限強さ: 材料が破断しないで耐えられる最大の応力 σ_B
引張りの場合は、**引張強さ**という

縦弾性係数(ヤング率)

比例限度内では、材料のひずみと応力は比例



→ フックの法則

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon \times 10^3}, \quad \epsilon = \frac{\sigma}{E \times 10^3}$$

比例定数E:
縦弾性係数

表 3-1 おもな金属材料の機械的性質(概略値)

材 料	性 質	降伏点(耐力) σ_y [MPa]	引張強さ σ_B [MPa]	縦弾性係数 E [GPa] ^③	横弾性係数 G [GPa]
機械構造用炭素鋼鋼材(軟鋼)	S10C	205	310	206	81
機械構造用炭素鋼鋼材(硬鋼) ^② *1	S50C	365	610	206	82
一般構造用圧延鋼材	SS400	215	400	206	81
ニッケルクロム鋼	SNC236	590	740	206	81
ステンレス鋼	SUS304	205	520	197	74
球状黒鉛鋳鉄	FCD400	250	400	172	80
黄銅	C3560	137	412	96	36
アルミニウム合金	A7075-O*2	103	226	72	—
アルミニウム合金	A7075-T6*3	505	574	72	—

注 硬鋼(*1)は、高温に加熱したあと、空气中で冷却したときの機械的性質。

記号O(*2)は、加熱してひずみを除いたあとの機械的性質。

記号T6(*3)は、焼入れしたあと、低い温度で冷却して最高の強さを得たときの機械的性質。

例題 3

長さ $l = 800$ mm, 直径 $d = 50$ mm の鋼の丸棒に $W = 140$ kN の引張荷重が働いたときに生じる伸び Δl を求めよ。ただし, 縦弾性係数 $E = 206$ GPa とする。

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon \times 10^3} = \frac{\frac{W}{A}}{\frac{\Delta l}{l} \times 10^3} = \frac{Wl}{A\Delta l \times 10^3}$$

$$\Delta l = \sigma \frac{l}{E \times 10^3}$$

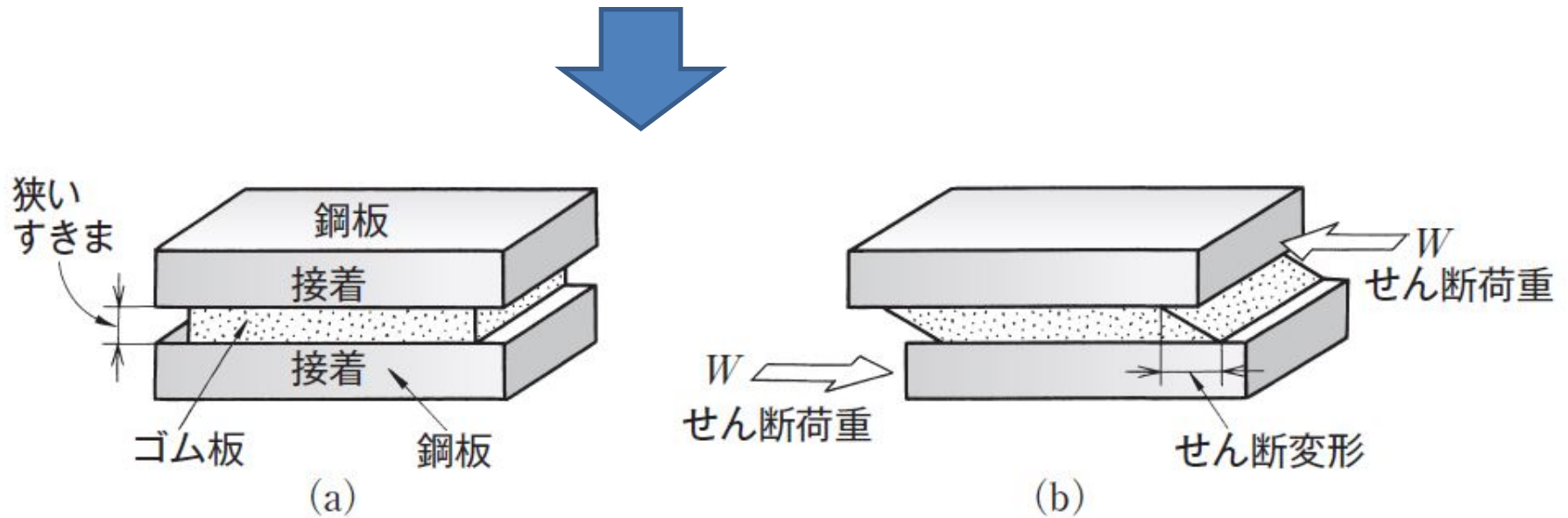
の関係式を使って解く

3.1.2 せん断荷重とせん断変形

せん断：上下面が互いにずれる現象

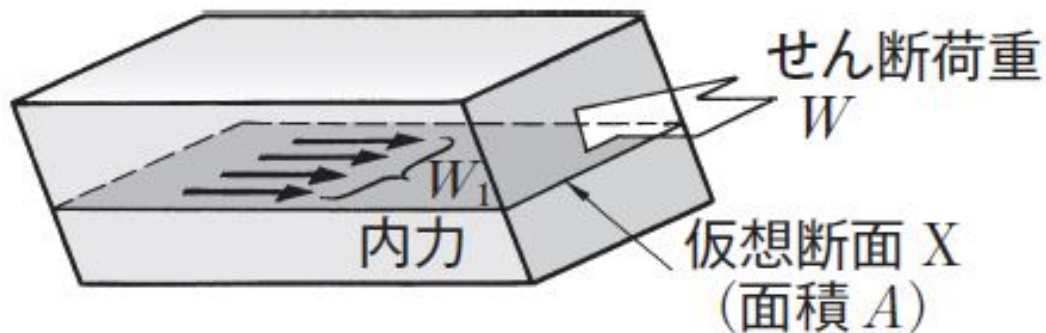
せん断荷重：ずらす力

せん断変形：せん断荷重によって生じる変形



層状に重なった構造では、せん断が起こりやすい
(固体潤滑剤にもこの性質が使われている)

せん断応力

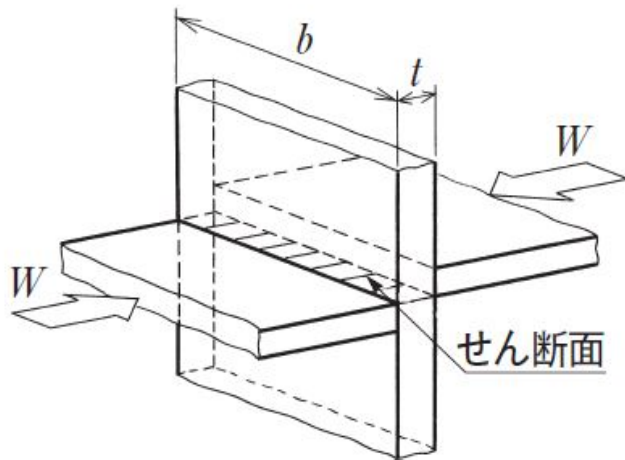


せん断力をせん断面の面積で除す

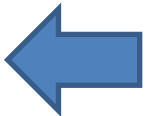
$$\tau = \frac{W}{A}$$

例題 4

図に示すように、幅 $b = 80 \text{ mm}$ 、厚さ $t = 3 \text{ mm}$ の鋼板に、 $W = 15 \text{ kN}$ のせん断荷重が加わっている。このとき、板のせん断面に生じるせん断応力 τ を求めよ。



例題 4 の図

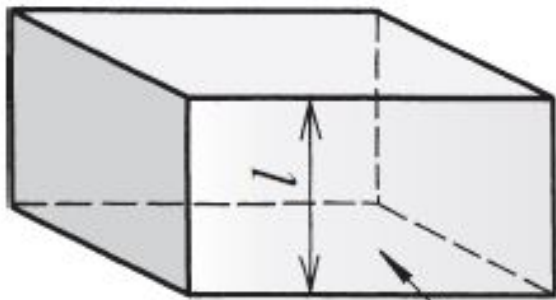


切断機の原理

せん断ひずみ:せん断荷重が加わる2面間の単位長さあたりのせん断変形量

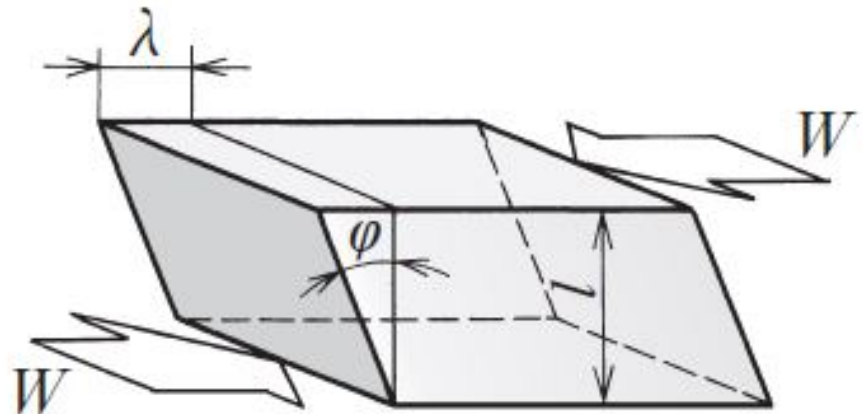
$$\gamma = \frac{\lambda}{l} = \tan \varphi \doteq \varphi$$

φ : ずれの角度 (非常に小さいので上式が成立)



せん断面の面積 A

(a) 変形前



(b) 変形後

横弾性係数

せん断応力とせん断ひずみの関係

$$\tau = 1000 \times G \gamma, \quad \gamma = \varphi = \frac{\tau}{1000G}$$

比例定数 **G**: 横弾性係数

材 料	性 質	降伏点 (耐力) σ_y [MPa]	引張強さ σ_B [MPa]	縦弾性係数 E [GPa] ^⑥	横弾性係数 G [GPa]
機械構造用炭素鋼鋼材 (軟鋼)	S10C	205	310	206	81
機械構造用炭素鋼鋼材 (硬鋼) ^② *1	S50C	365	610	206	82
一般構造用圧延鋼材	SS400	215	400	206	81
ニッケルクロム鋼	SNC236	590	740	206	81
ステンレス鋼	SUS304	205	520	197	74
球状黒鉛鋳鉄	FCD400	250	400	172	80
黄銅	C3560	137	412	96	36
アルミニウム合金	A7075-O ^{*2}	103	226	72	—
アルミニウム合金	A7075-T6 ^{*3}	505	574	72	—

3.1.3 材料の主な機械的性質と使い方

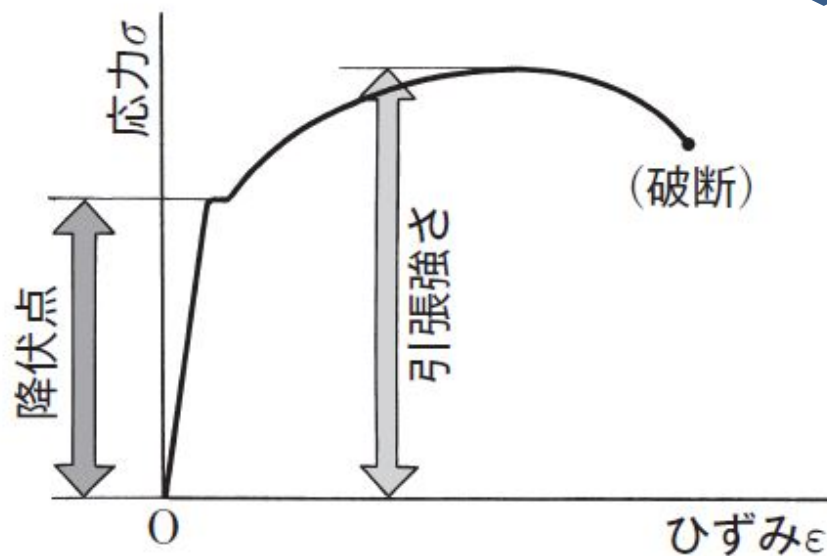
(1) 延性材料・脆性材料

延性材料: 破断に至るまでに大きな塑性変形を示す

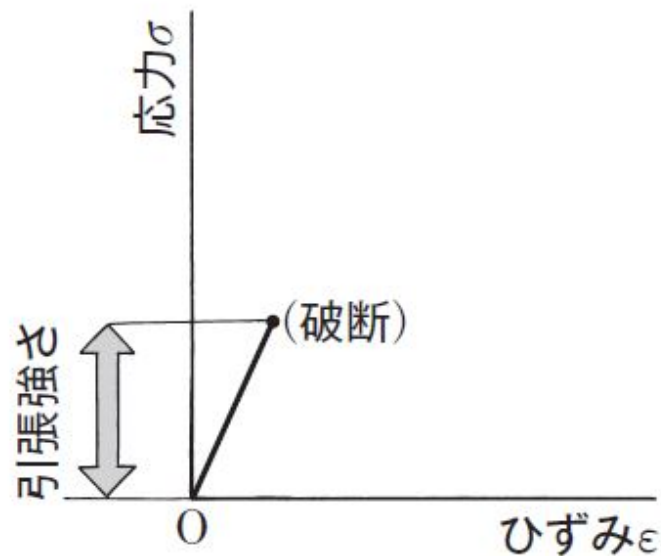
・ 軟鋼、アルミ合金、銅合金など

脆性材料: ほとんど塑性変形を示さずに破壊する

・ 鋳鉄、コンクリート、セラミックスなど



(a) 延性材料(軟鋼)



(b) 脆性材料

(2) おもな使い方

機械や構造物の部材に生じる応力 → 降伏点より小さく



弾性変形の範囲内で使用する

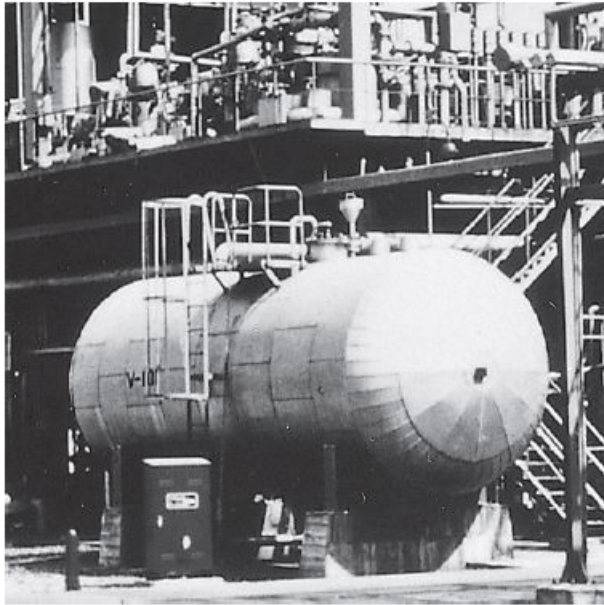
鋳鉄、コンクリート: 圧縮に強い

→ 圧縮荷重を受ける土台などに適する

材 料	性 質	降伏点 (耐力) σ_y [MPa]	引張強さ σ_B [MPa]	縦弾性係数 E [GPa] ^③	横弾性係数 G [GPa]
機械構造用炭素鋼鋼材 (軟鋼)	S10C	205	310	206	81
機械構造用炭素鋼鋼材 (硬鋼) ^② *1	S50C	365	610	206	82
一般構造用圧延鋼材	SS400	215	400	206	81
ニッケルクロム鋼	SNC236	590	740	206	81
ステンレス鋼	SUS304	205	520	197	74
球状黒鉛鋳鉄	FCD400	250	400	172	80
黄銅	C3560	137	412	96	36
アルミニウム合金	A7075-O*2	103	226	72	—
アルミニウム合金	A7075-T6*3	505	574	72	—

3.2 引張り・圧縮を受ける部材に強さ

3.2.1 圧力容器の強さ



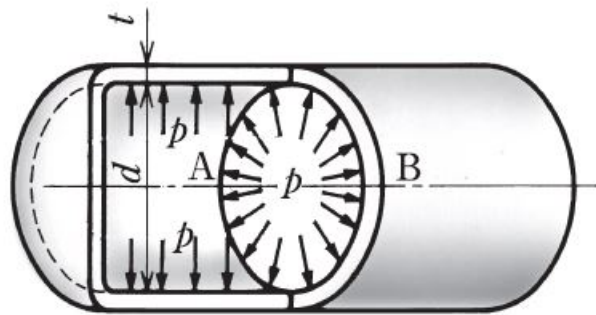
内圧を受ける容器

円周方向： σ

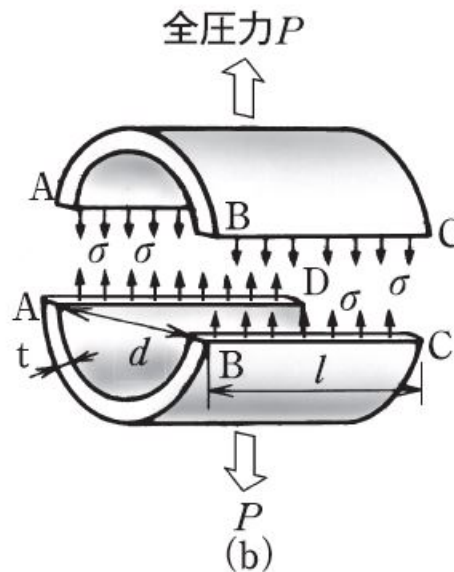
軸方向： σ'



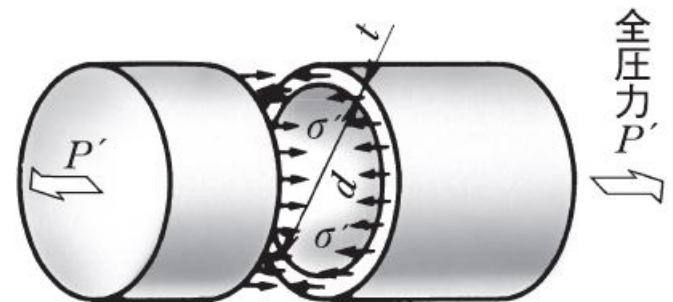
ともに許容応力よりも小さくする



(a)



(b)



(c)

・円周方向の応力

$$\sigma = \frac{P}{A} = \frac{pdl}{2tl} = \frac{pd}{2t}$$

内径： d 、長さ： l 、厚さ： t
(投影面積： A)

・軸方向の応力

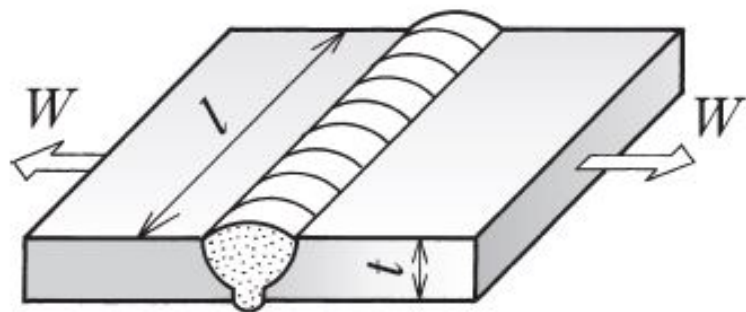
鏡板の加わる力 $P' = \frac{\pi d^2}{4} p$

$$\sigma' = \frac{P'}{A'} = \frac{p\pi d^2}{4\pi dt} = \frac{pd}{4t}$$



軸方向応力は円周方向応力の1/2になるので、
円周方向の引張応力だけを検討すればよい

3.2.2 溶接継手の強さ

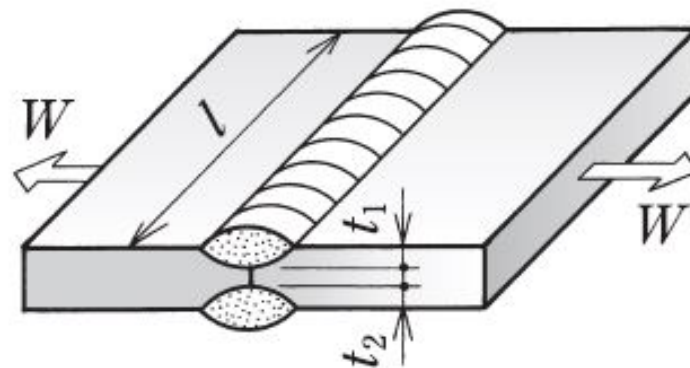


(a) 突合せ継手
(不溶着部がないとき)

$$\sigma = \frac{W}{A} = \frac{W}{tl}$$

W : 引張荷重 [N] A : のど^②断面積 [mm²] t : 板厚 [mm]

l : 溶接長さ [mm] σ : 引張応力 [MPa] t_1, t_2 : のど厚^③ [mm]



(b) 突合せ継手
(不溶着部があるとき)

$$\sigma = \frac{W}{A} = \frac{W}{(t_1 + t_2)l}$$

溶接部の強さ > その部分に生じる応力

3.2.3 荷重を支える部材の強さ

例題 8

図のように、外径 $d_2 = 250$ mm、内径 $d_1 = 150$ mm の短い中空円筒に $W = 300$ kN の圧縮荷重が加わったときの応力 σ を求めよ。

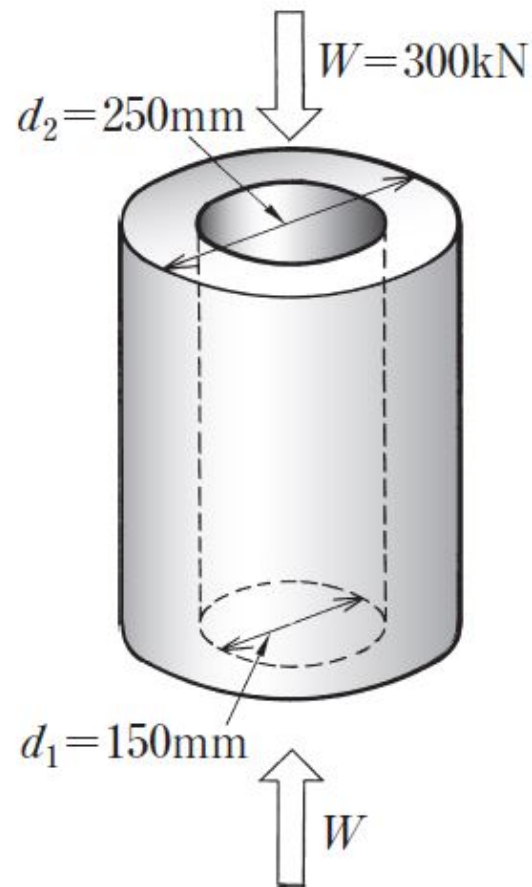
$$W = 300 \text{ [kN]} = 300 \times 10^3 \text{ [N]},$$

$$A = \frac{\pi (d_2^2 - d_1^2)}{4} = \frac{\pi (250^2 - 150^2)}{4}$$

$$= 31.42 \times 10^3 \text{ [mm}^2\text{]}$$

であるので、圧縮応力 σ は、式 (3-1) から、

$$\sigma = \frac{W}{A} = \frac{300 \times 10^3}{31.42 \times 10^3} = 9.55 \text{ [MPa]}$$



例題 8 の図

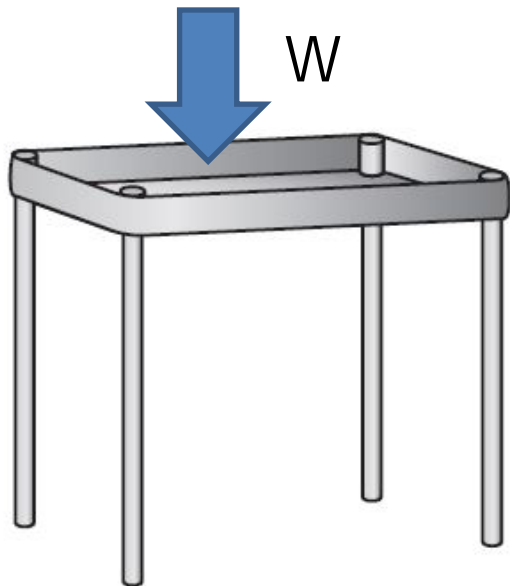
3.6 座屈と構造物

3.6.1 柱の座屈

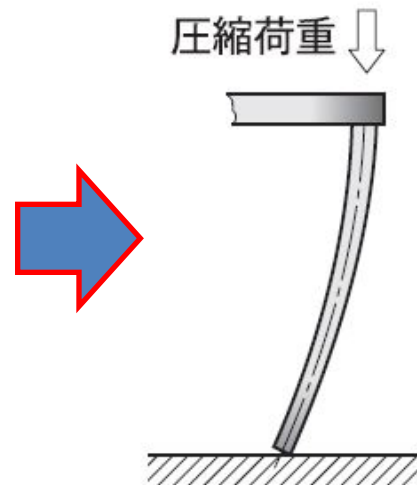
(1) 柱両端の状態と座屈

座屈: 細長い棒状の部材では、小さな圧縮荷重でも横方向に大きくたわむ現象

長柱: 座屈を起こしやすい細長い柱



(a) 細長い支柱



(b) 支柱のたわみ

座屈荷重: 座屈が生じる限界荷重

座屈応力: 座屈を起こす応力

座屈応力 < 圧縮応力

座屈は、端末(柱の端)の拘束などで状態が異なる



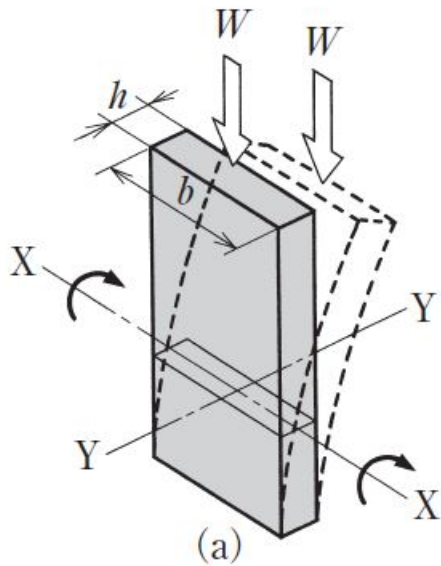
表 3-8 長柱の端末条件と端末係数 n

端末条件 と座屈形					記号	
	支持部の 回転	横方向 の移動				
		自由	拘束			
		拘束	拘束			
		自由	自由			
		拘束	自由			
端末係数 n	1	1	0.25	0.25		

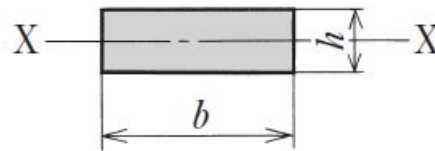
端末計数 n : 座屈荷重の計算に使われる

(2) 主断面二次モーメント

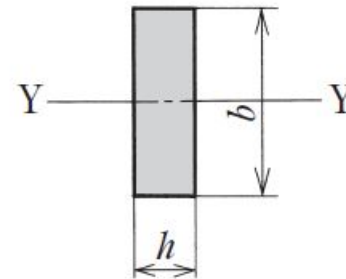
断面二次モーメントが最も小さい方向に座屈しやすい
→ 主断面二次モーメント I_0



座屈はX-X軸回りに発生する



(b)



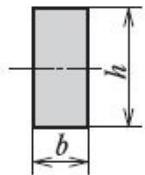
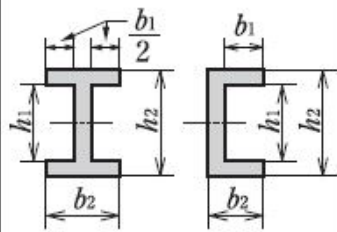
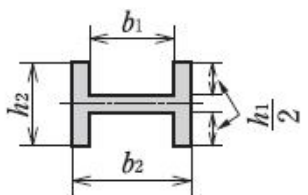
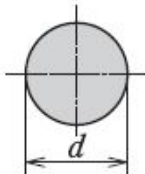
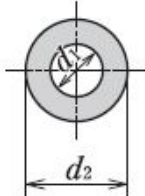
(c)

$$I_X = \frac{bh^3}{12} < I_Y = \frac{hb^3}{12}$$

X-X軸回りの I_X が
小さいので、

$$I_0 = I_X$$

表 3-2 断面積 A , 断面二次モーメント I , 断面係数 Z

	断面 [mm]	A [mm ²]	I [mm ⁴]	Z [mm ³]
1		bh	$\frac{1}{12} bh^3$	$\frac{1}{6} bh^2$
2		$b_2h_2 - b_1h_1$	$\frac{1}{12} (b_2h_2^3 - b_1h_1^3)$	$\frac{1}{6} \cdot \frac{b_2h_2^3 - b_1h_1^3}{h_2}$
3		$b_2h_2 - b_1h_1$	$\frac{1}{12} \{ (b_2 - b_1)h_2^3 + b_1(h_2 - h_1)^3 \}$	$\frac{1}{6} \cdot \frac{(b_2 - b_1)h_2^3 + b_1(h_2 - h_1)^3}{h_2}$
4		$\frac{\pi}{4} d^2$	$\frac{\pi}{64} d^4$	$\frac{\pi}{32} d^3$
5		$\frac{\pi}{4} (d_2^2 - d_1^2)$	$\frac{\pi}{64} (d_2^4 - d_1^4)$	$\frac{\pi}{32} \cdot \frac{d_2^4 - d_1^4}{d_2}$

(3) 座屈荷重と座屈応力

オイラーの式

W : 座屈荷重

σ : 座屈応力

$$W = 1000 n\pi^2 \frac{EI_0}{l^2} \text{ [N]}$$

$$\sigma = \frac{W}{A} = 1000 n\pi^2 \frac{EI_0}{l^2 A} \text{ [MPa]}$$

n : 端末係数、 l : 長柱の長さ [mm]、 A : 柱の断面積 [mm²]

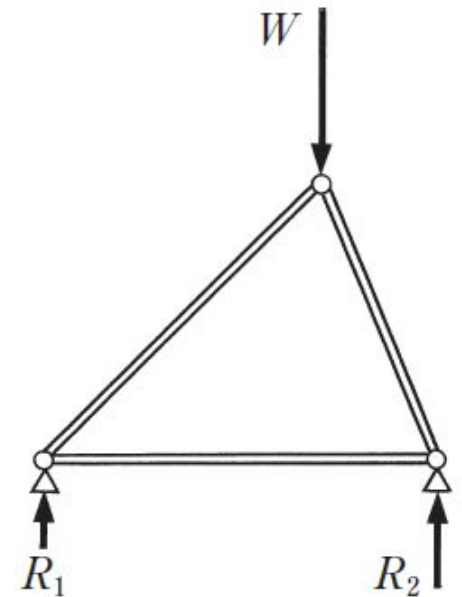
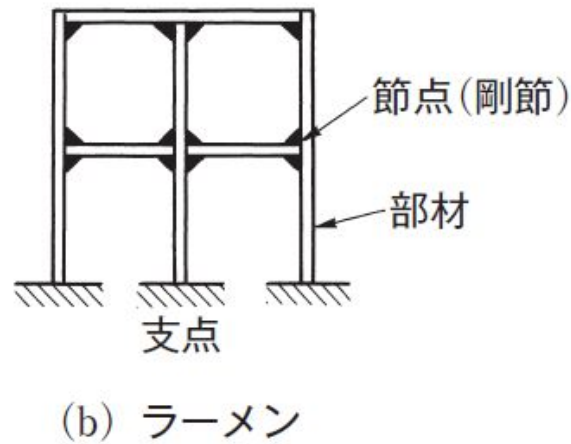
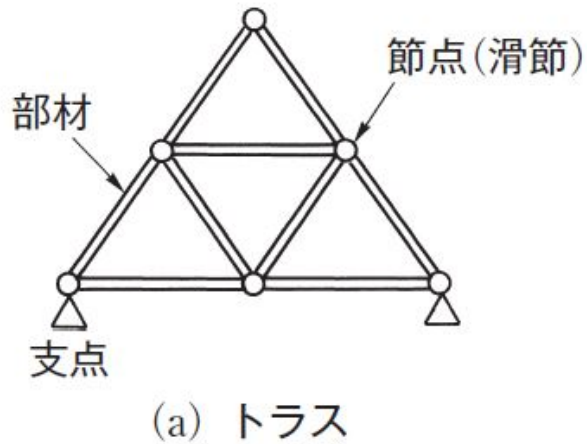


$\frac{I_0}{A} = k_0^2$ と置き換えると

$$\sigma = \frac{W}{A} = 1000 n\pi^2 \frac{E k_0^2}{l^2} = 1000 \frac{n\pi^2 E}{\left(\frac{l}{k_0}\right)^2} \text{ [MPa]}$$

l / k_0 : 細長比

3.6.2 骨組構造



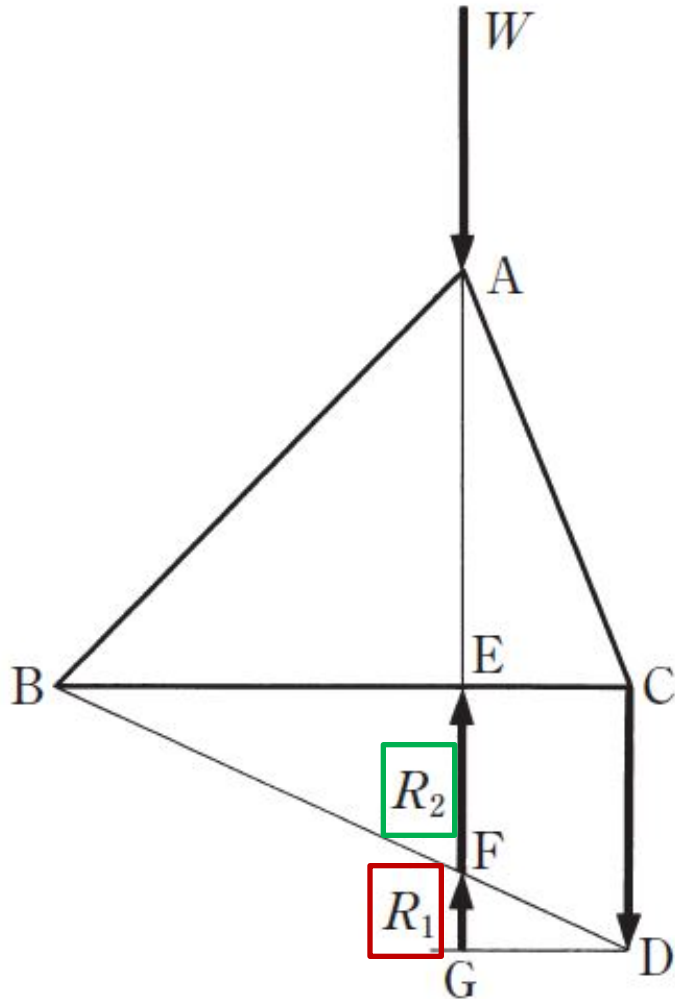
トラス: すべての接点が滑節
の構造物

ラーメン: 剛節を含む構造物

平面トラス: 平面上の骨組構造

(1) トラスに働く力

平面トラスの頂点に荷重 W が作用した場合



各点をA、B、Cとおく

点Cから下方へ点Aに作用する荷重と平行で同じ大きさの線分CDを引く
点Aを通る荷重の作用線と直線BCとの交点をE、点BとDを結ぶ直線BDとの交点Fを求める

線分EFが支点Cに働く反力 R_2 (荷重と逆向き)

線分BCに平行な直線とEFの延長線の交点をGとする。FGが支点Bに働く反力 R_1 (荷重 W と逆向き)

部材に生じる力

1点に働く力がつり合っている → 力の多角形は閉じている

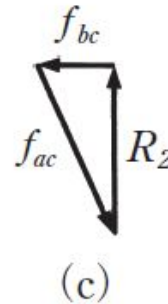
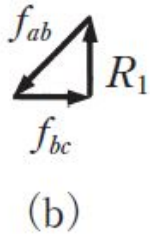
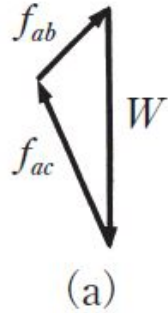
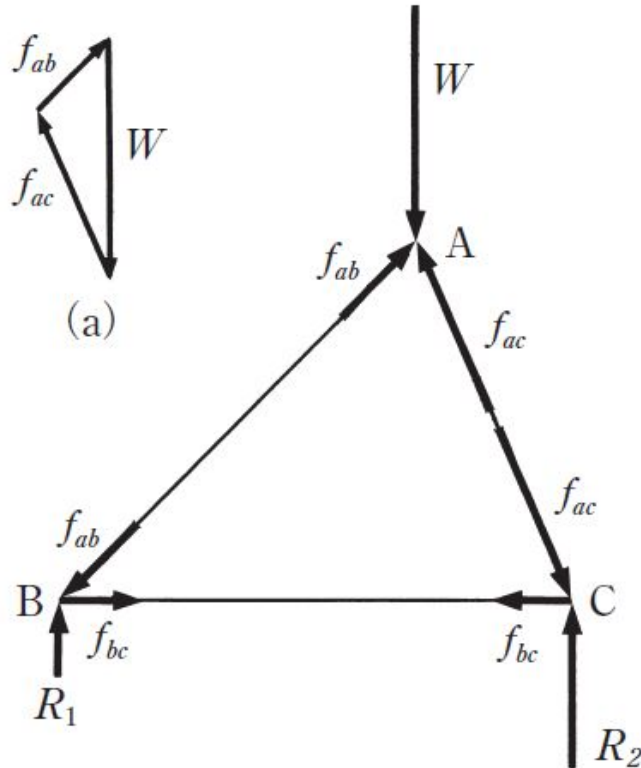
部材が両端の接点から受ける力は大きさが同じで反対向き



ABとAC: 部材は接点から押されている → **圧縮材**

BC: 部材は接点B、Cから引張られている → **引張材**

トラスにおいては、引張り、圧縮に耐えられる断面形状、寸法にする。座屈の影響も考慮する



今週の演習問題

テキストP65、問題3

ただし、鋼線の引張り強さを600MPaとする