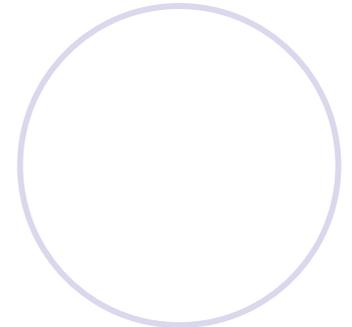
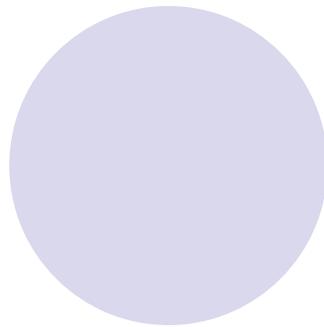
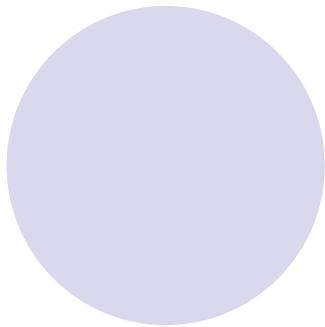


# 13. 生体材料力学



# 1. 基本的荷重構成

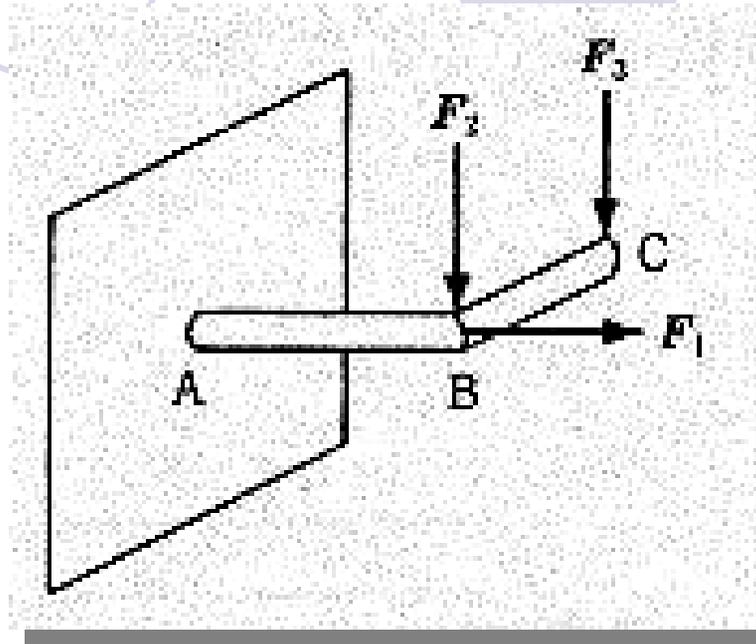


図1. 負荷モード ( 嘉数ら, 2001 )

力 $F_1$ : はりの腕ABに張力の荷重を生じる

力 $F_2$ : はりの腕ABを曲げるように働く

力 $F_3$ : はりの腕BCに対するねじれの効果と腕ABに対する曲げの効果

(  $F_1$ : 軸荷重     $F_2, F_3$ : 横荷重 )

## 2. 荷重 伸び図(1)

同じ材料の棒に単軸引張試験を行い, 負荷と伸びを測定

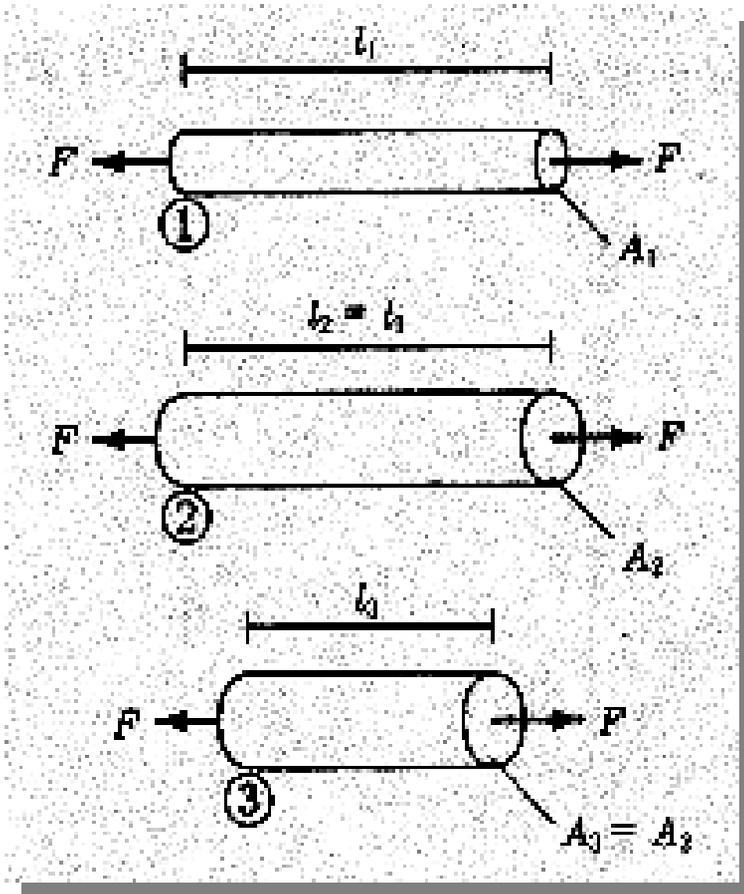


図2. 試験片 (嘉数ら, 2001)

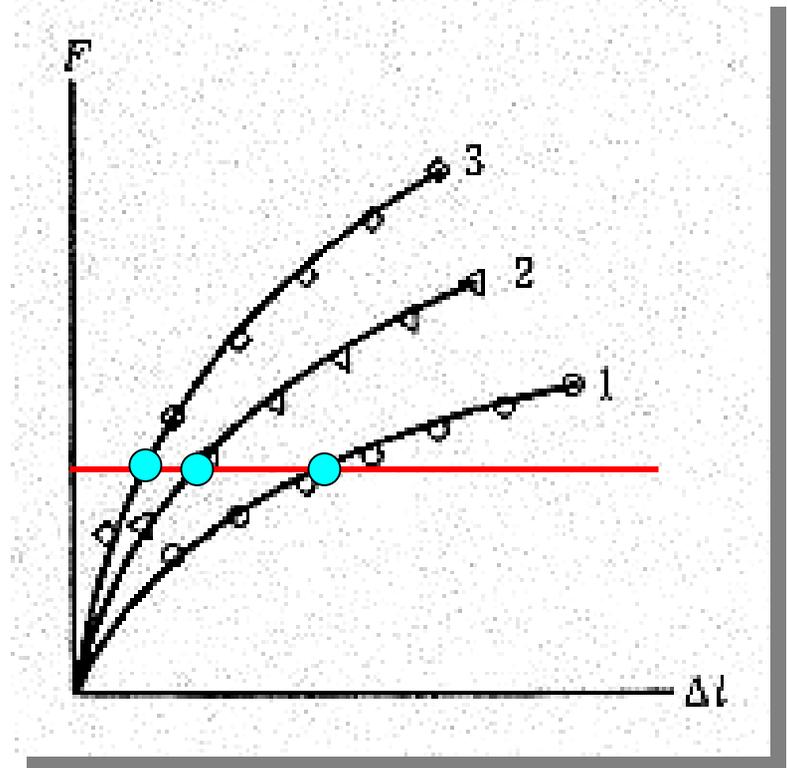
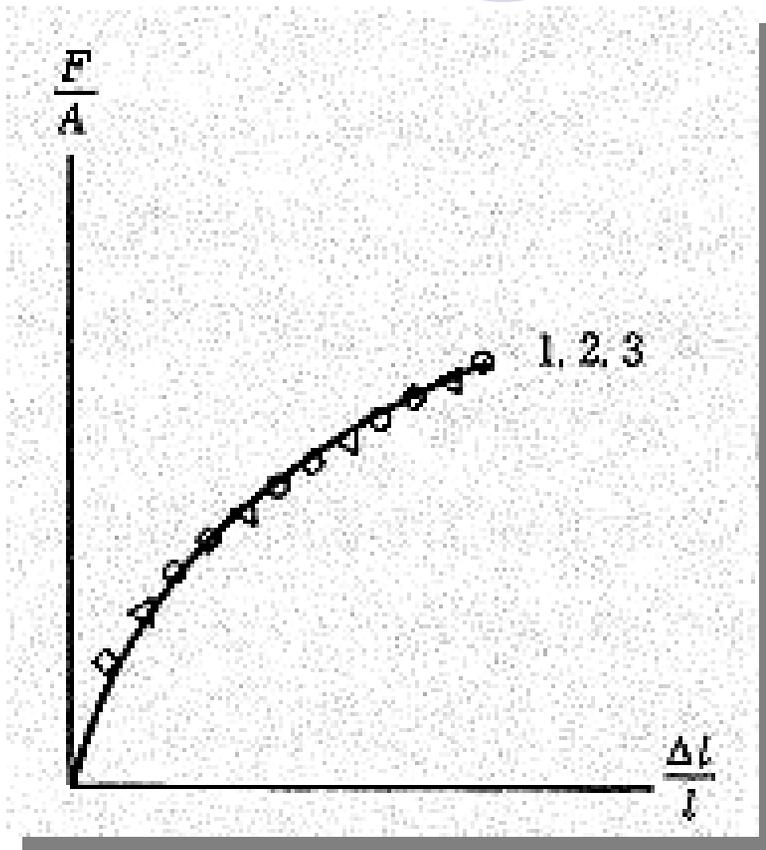


図3. 負荷 - 伸び線図 (嘉数ら, 2001)

## 2. 荷重

## 伸び図(2)



$F/A$ : 力  $F$  の大きさを試験片の断面積  $A$  で割る

$l/l$ : 計測された伸びを試験片の本来の長さで割る

\* 同じ材料      1つの曲線

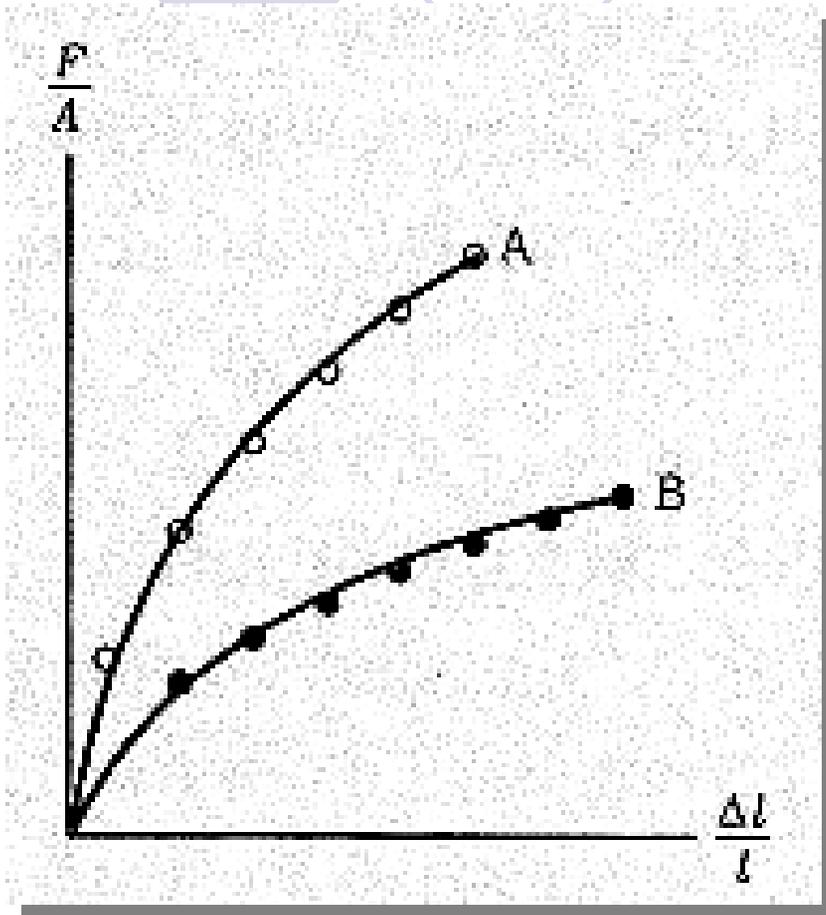
図4 負荷面積比 - 伸び, 長さ比

(嘉数ら, 2001)

## 2. 荷重

## 伸び図(3)

\* 異なる材料A,Bの比較



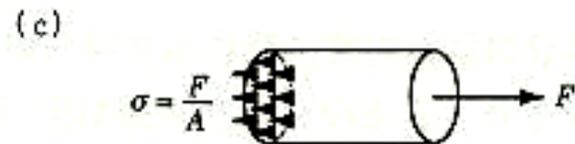
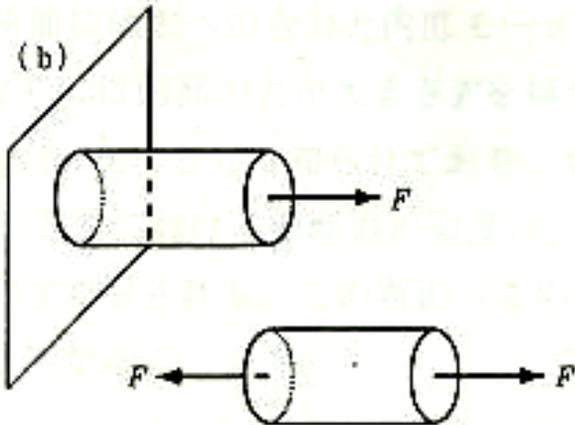
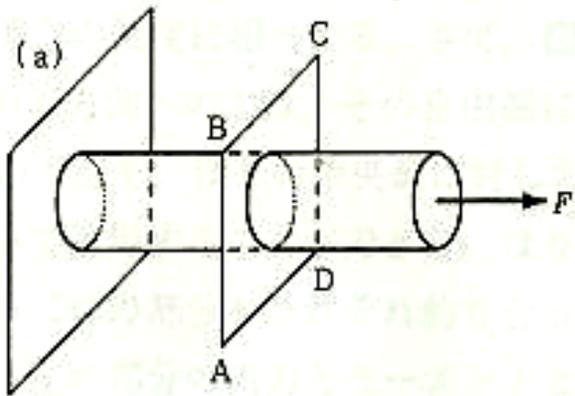
BはAよりも変形しやすい



AはBよりも硬い

図5 材料A,Bの硬さの比較 (嘉数ら, 2001)

### 3. 単純応力(1)



はりの内部で誘発される力を分析するために、はりを仮想的に切断

応力：切断面における内部の力を  
単位面積で規格化したもの

垂直応力：  
切断面と垂直な方向の応力

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (3.1)$$

(単位：N/m<sup>2</sup>, Pa)

A: 断面積

図6. 垂直応力 (嘉数ら, 2001)

### 3. 単純応力(2)

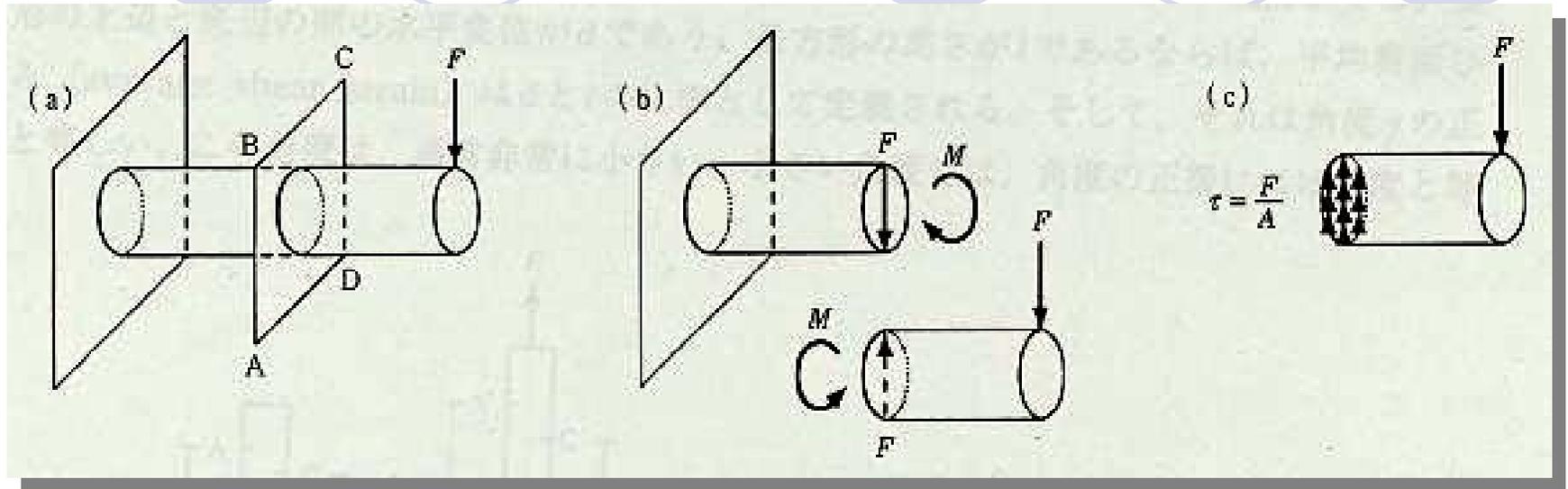


図7. 剪断応力 (嘉数ら, 2001)

#### 剪断応力

: 切断面に平行、正接方向の応力

$$\tau = \frac{F}{A} \quad (3.2)$$

(単位: N/m<sup>2</sup>, Pa)

# 4 . 単純ひずみ

\* ひずみ:変形の程度、強度の尺度

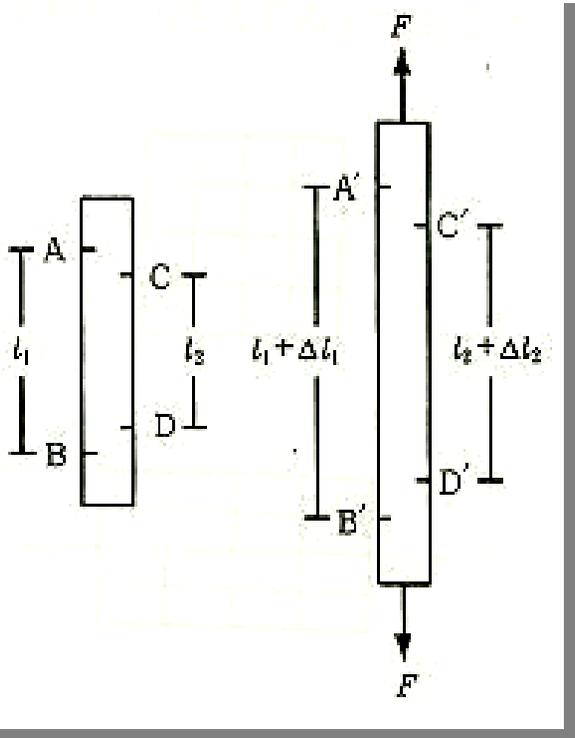


図8:垂直ひずみ (嘉数ら, 2001)

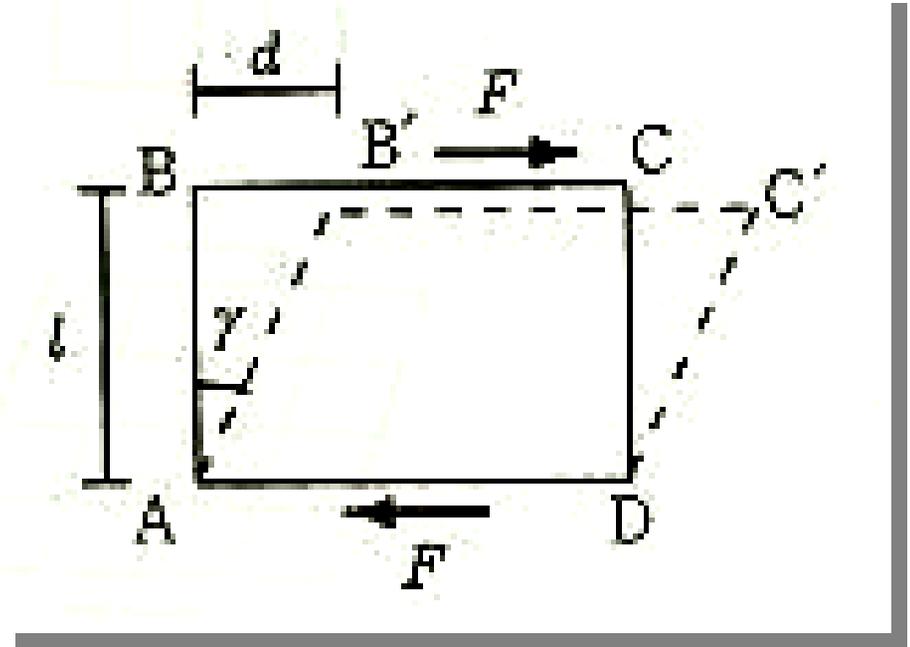


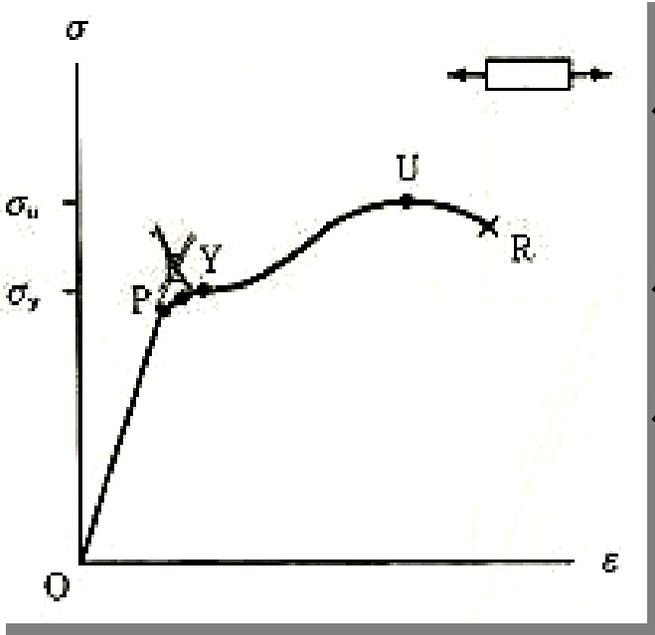
図9. 剪断ひずみ (嘉数ら, 2001)

**垂直ひずみ**  $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$  (4.1)

**剪断ひずみ**  $\gamma = \frac{d}{l}$  (4.2)

# 5 . 応力 ひずみ線図 (1)

点P: 線形限界...点OP間では応力とひずみは比例



点E: 弾性限界... 材料内に永久変形をおこさないうちで最も大きい応力

点Y: 降伏点...オフセット法によって決定

点R: 破損点...材料が破断する点

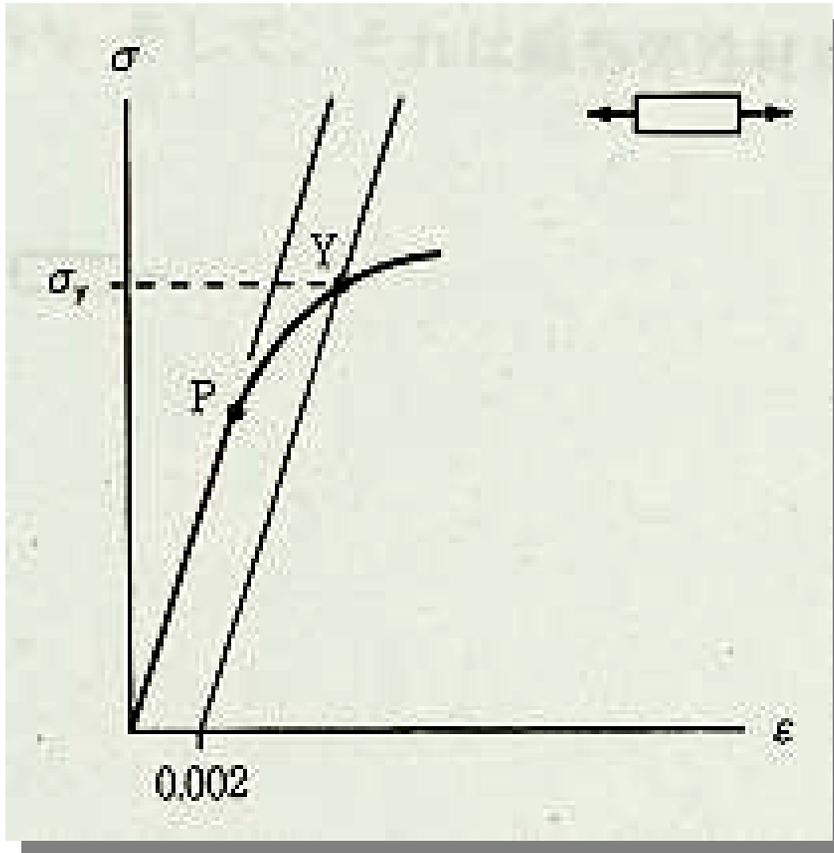
$\sigma_y$ : 降伏強度...降伏点に対応する応力

$\sigma_u$ : 限界強度...最大の応力、材料の限界強度

破断強度...破断が起こる応力

図10. 軸負荷する場合の応力-ひずみ線図 (嘉数ら, 2001)

## 5 . 応力 ひずみ線図(2)



応力-ひずみ線図の線形部分と平行し、およそ0.2%のひずみを通るように線を引く。

曲線とその線の交点が降伏点

図11. オフセット法 (嘉数ら, 2001)

## 6 . 弾性変形 ( 1 )

\* 弾性 : 作用する外力の除去に従い材料が元の状態に戻るこ

$$\sigma = E\varepsilon \quad (6.1)$$

$E$  : 弾性係数 , ヤング率 [N/m<sup>2</sup>]

\* 弾性係数 ( $E$ )      材料の硬さ

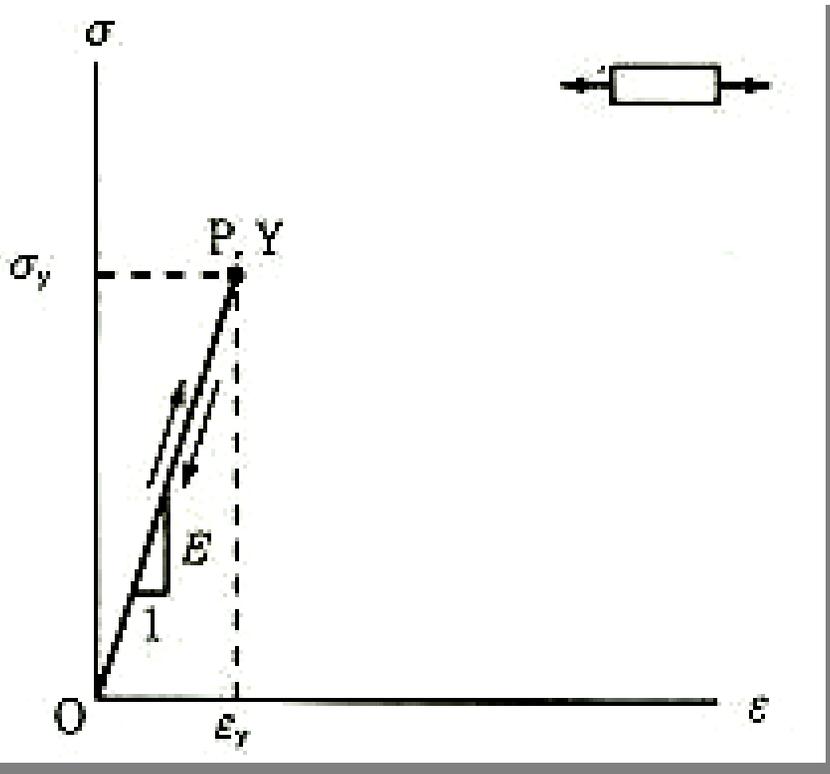
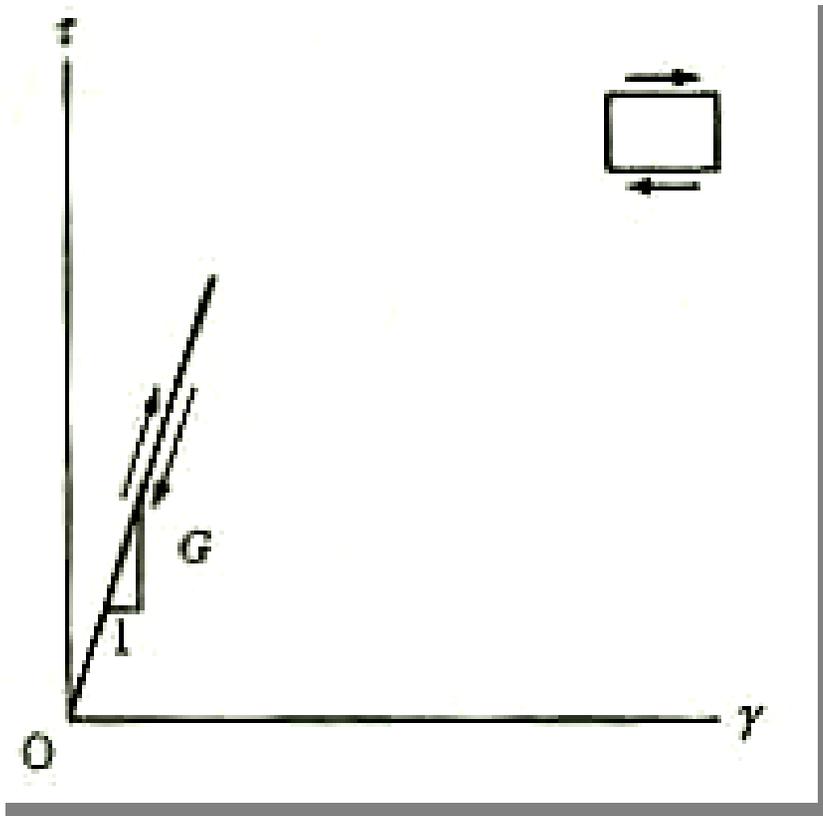


図12. 線形弾性材料の応力-ひずみ線図  
(嘉数ら, 2001)

## 6 . 弾性変形 ( 2 )



$$\tau = G\gamma \quad (6.2)$$

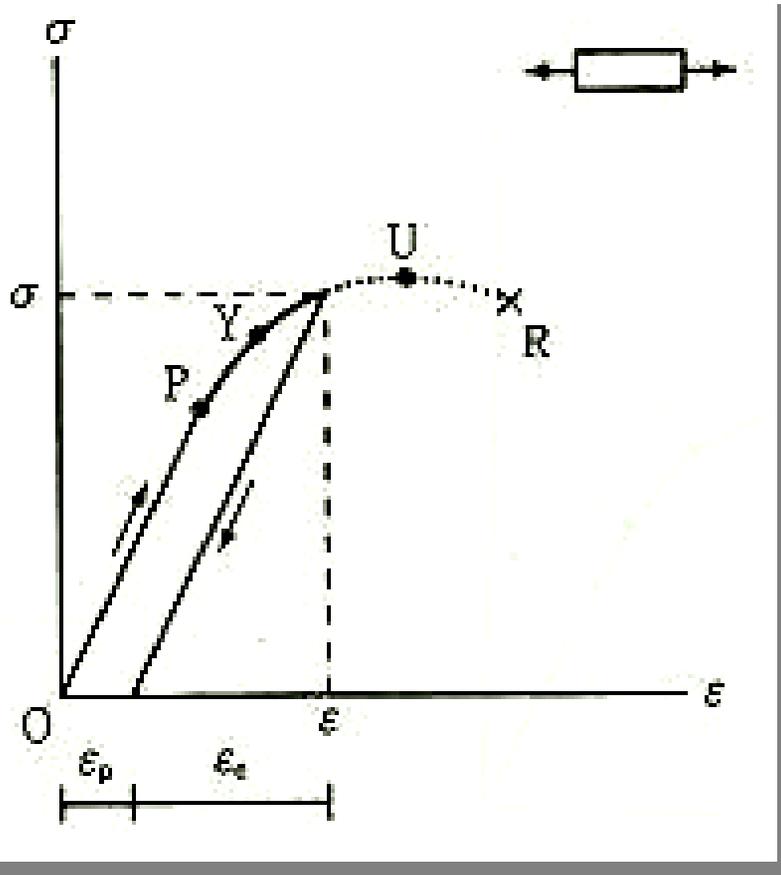
$G$ : 剪断弾性係数, 剛性係数 [N/m<sup>2</sup>]

\* 剪断弾性係数 ( $G$ )  
材料の硬さ

図13. 線形弾性材料の剪断応力-剪断ひずみ線図  
(嘉数ら, 2001)

# 7 . 塑性変形

\* 塑性: 作用する外力を除去しても変形が残留する



$\epsilon_e$  : 弾性ひずみ

$\epsilon_p$  : 塑性ひずみ

$$\epsilon = \epsilon_e + \epsilon_p \quad (7.1)$$

図14. 塑性変形 (嘉数ら, 2001)

## 8 . くびれ

実線：通常応力－ひずみ線図

破線：真応力－ひずみ線図

通常応力：荷重を初期断面積で規格化したもの

真応力：荷重を逐次的な断面積で規格化したもの

くびれによって断面積が変わるため、通常応力と真応力の値に違いが生じる

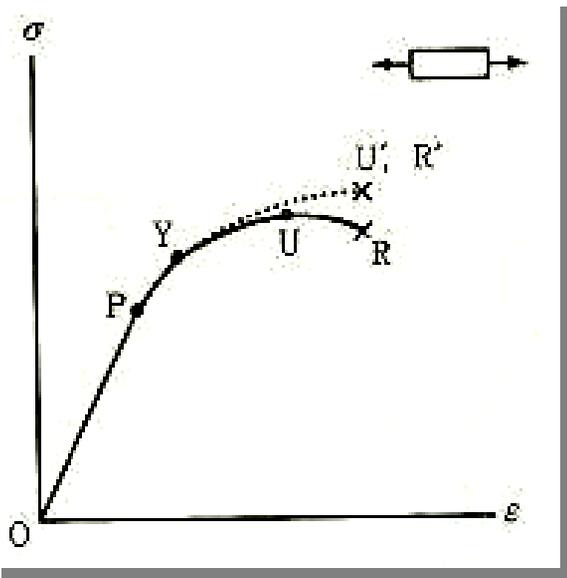


図15. 通常応力, 真応力におけるひずみ－応力線図  
(嘉数ら, 2001)

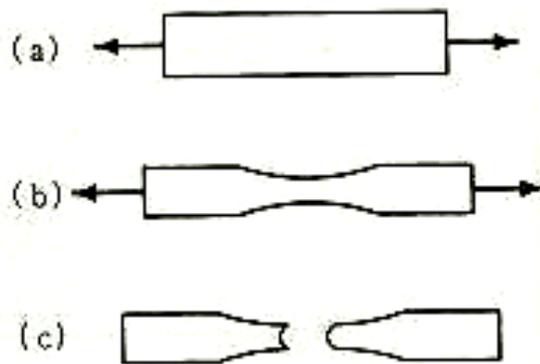


図16. くびれ(嘉数ら, 2001)

# 9 . ヒステリシスループ

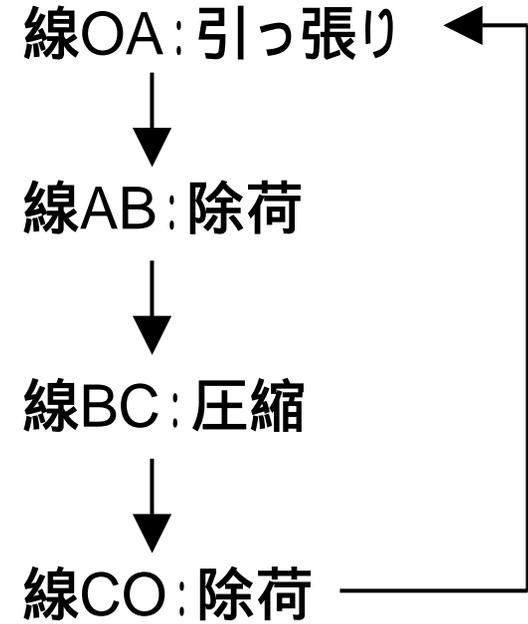
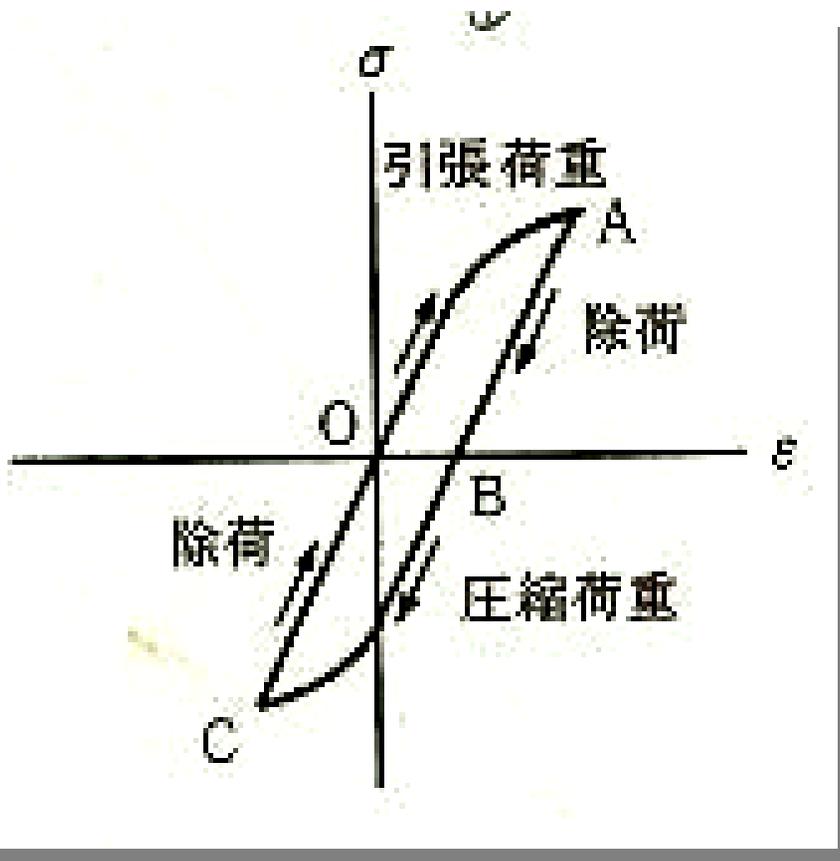


図18. ヒステリシスループ (嘉数ら, 2001)

# 10 . 疲労

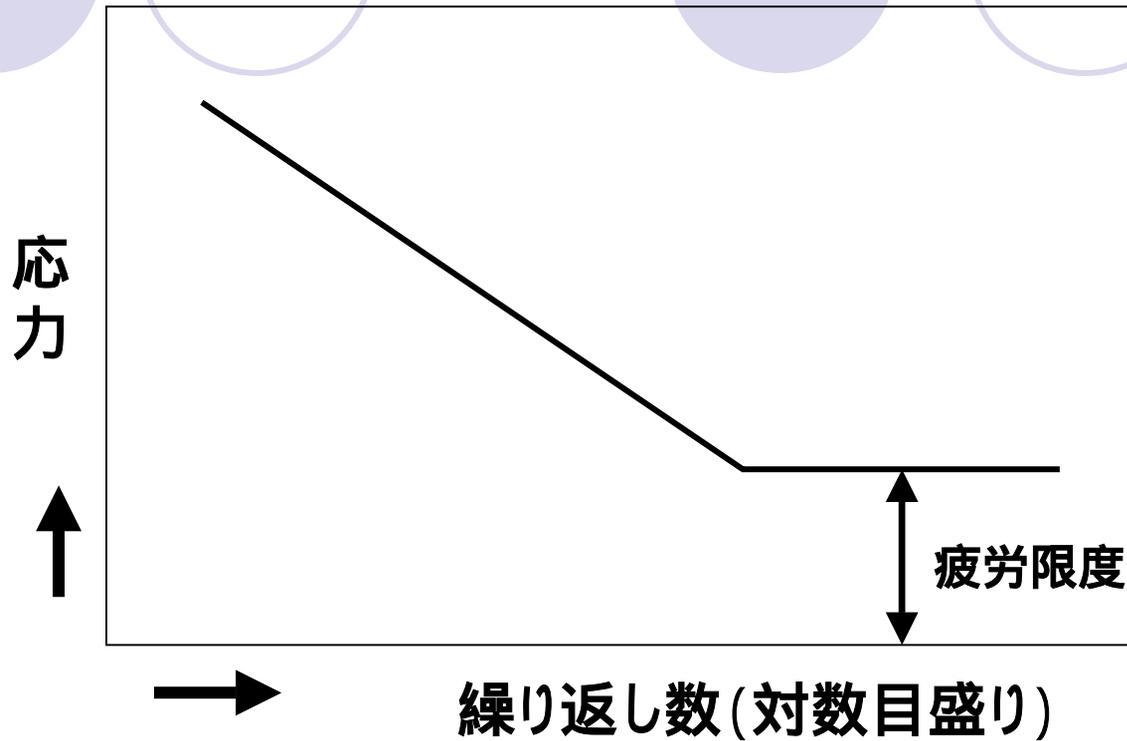


図19. S - N曲線 (木本ら, 2002)

\* 繰返し荷重      材料の疲労

\* 疲労      繰返し応力で材料の抵抗が低下する

# 1 1 . 材料の機械的特性

材料	引張降伏強度 [MPa] $\sigma_y$	引張最大強度 [MPa] $\sigma_u$	弾性係数 $E$ [GPa]	剪断係数 $G$ [MPa]	ポアソン比 $\nu$
筋肉	—	0.2	—	—	0.49
腱	—	70	0.4	—	0.40
皮膚	—	8	0.5	—	0.49
骨	80	130	17	3.3	0.40

表1. 生体の平均的材料特性

ポアソン比:  $\nu = \frac{E - 2G}{2G}$

\* ポアソン比:  
軸方向と横方向の変形比が一定である