

2021/6/11 材料計測学8 課題 + 資料 ほか

(1) WebClassの確認問題8(6/11夜に掲示予定)解き、
6/17(木)23:59までに100点をとってください(制限回数は10回)。

(2) 課題に関するエクセルファイルを添付します。

(3) 今回と次回の説明用動画です。

動画8(14:13) https://youtu.be/smb3c_n6Bfc

動画9(14:28) <https://youtu.be/5chzEW57v2Y>

(4)参考動画です。

<https://www.youtube.com/watch?v=1yxk3GnN-qc> 鉄筋を引きちぎる 10:11 (建築系)

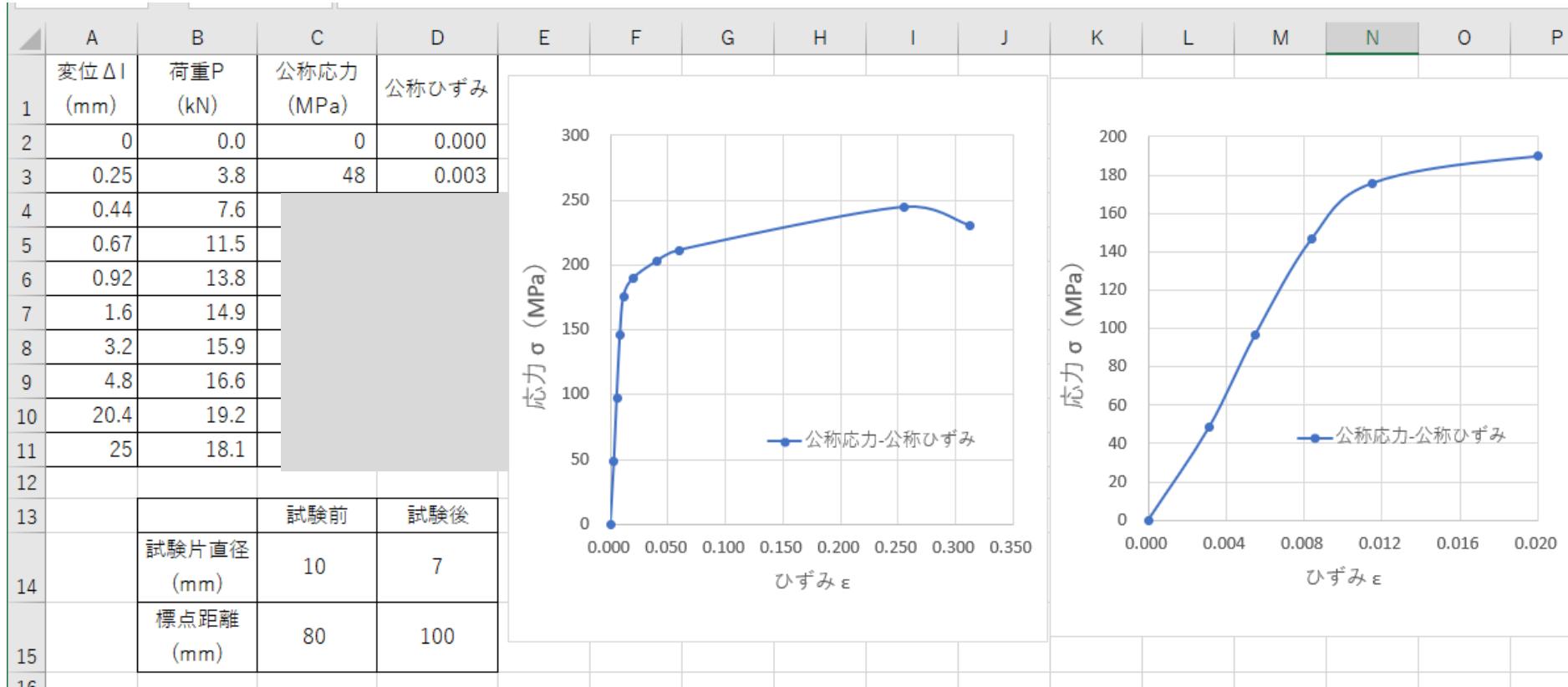
<https://www.youtube.com/watch?v=smkjXRcBSfQ> 金属の硬さ試験 5:00

以下は英語。英語字幕を出して視聴してみてください。

<https://www.youtube.com/watch?v=D8U4G5kcpcM> Tensile Test 8:58

<https://www.youtube.com/watch?v=RJXJpeH78iU> Brinell Hardness Test 3:05

<https://www.youtube.com/watch?v=7Z90OZ7C2jl> Vickers Hardness Test 2:32

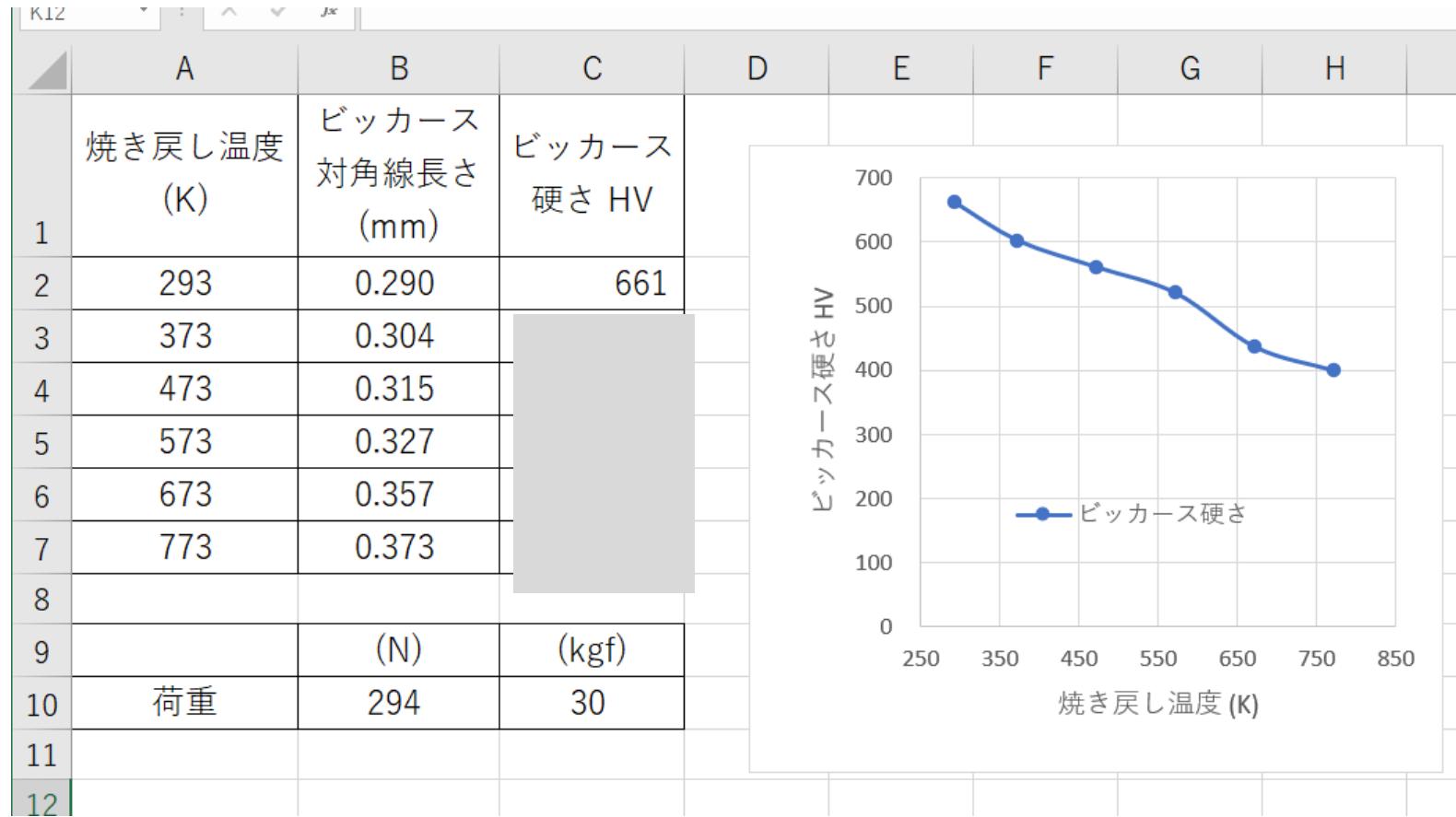


課題1

データファイルをダウンロードし、エクセルで表・グラフを完成させて作ってください(提出不要)

課題2 WebClassより入力してください。

0.2%耐力は?
引張強さは?
伸びは?
絞りは?



課題3 データファイルをダウンロードし、エクセルで表・グラフを完成させて作ってください(提出不要)

材料計測学

第8回

鎌田

①-③: 組織・構造, ④-⑥: 化学組成・結合状態

⑦ 熱分析 ⑧ 力学特性(引張・硬さ試験)



● 材料の変形 … 2種類

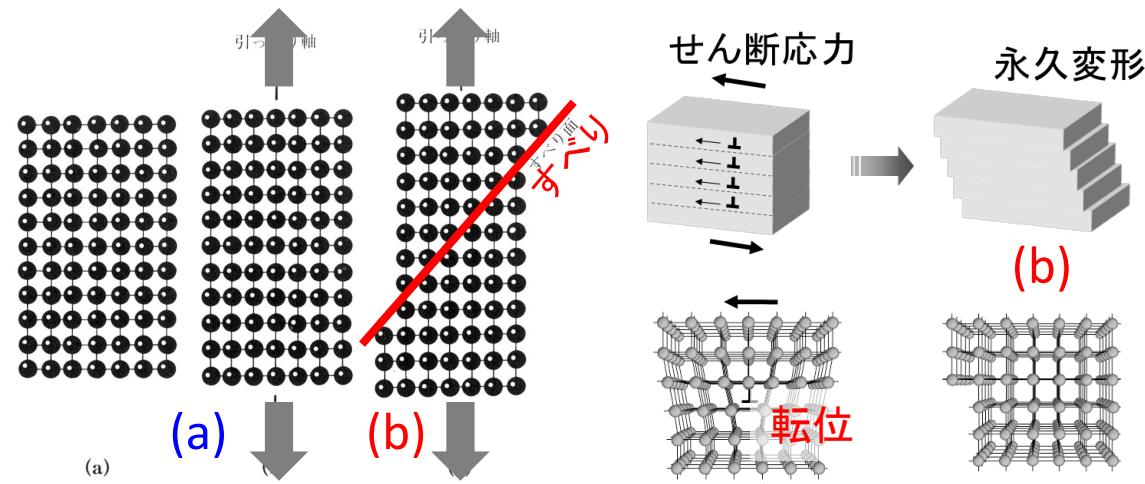
(a) 弹性変形(elastic deformation)

: 元に戻る … 原子間結合の強さ

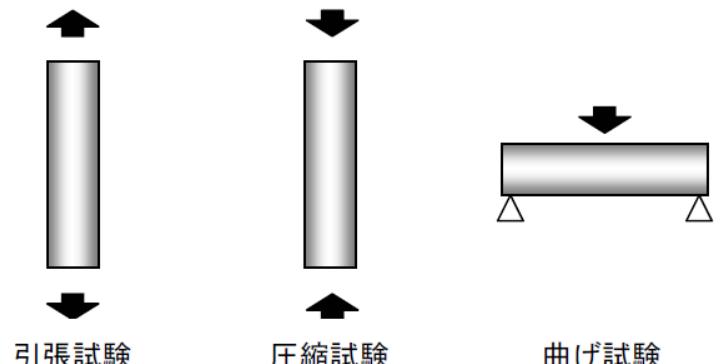
(b) 塑性変形(plastic deformation)

: 永久変形 … すべりにくさ

(通常: 転位の動きにくさ)



● 材料強度の基本となる力学的諸性質を調べる試験法

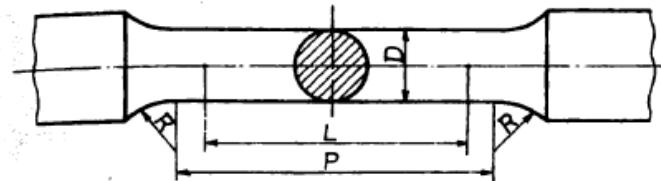


引張、圧縮、曲げ、せん断、
硬さ、衝撃、疲労、クリープ試験

● 引張試験 (tensile test) 寸法・形状の影響を考慮する必要

標準試験片: JIS Z 2201に規定 (日本工業規格 Japanese Industrial Standards)

4号試験片(丸棒)



径 <i>D</i>	標点距離 <i>L</i>	平行部の長さ <i>P</i>	肩部の半径 <i>R</i>
14	50	約60	15以上

4号試験片は、平行部を機械仕上げする。

4号試験片は、図3の寸法によることができない場合には、 $L = 4\sqrt{A}$ によって平行部の径と標点距離を定めてもよい。

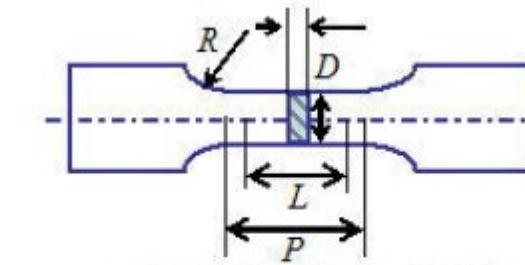
ここに、 A は、平行部の断面積。

● 引張試験機(万能試験機):



①インストロン型
機械的に荷重を負荷
…速度制御: 良

試験片



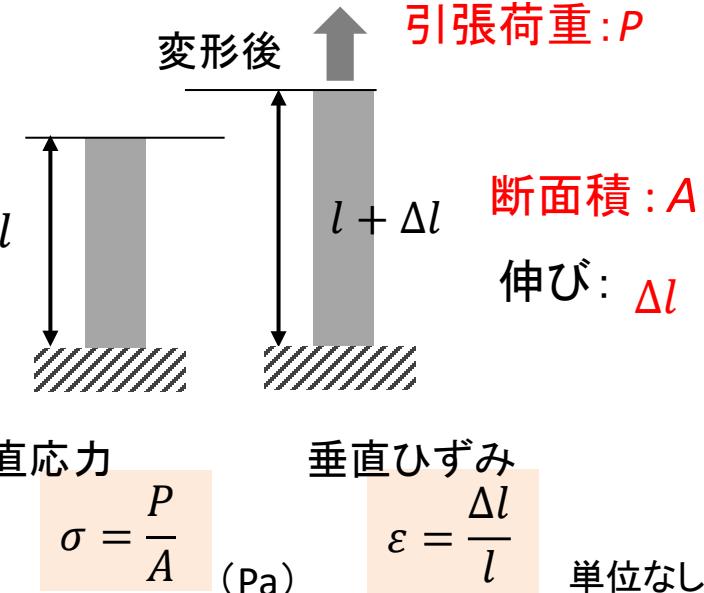
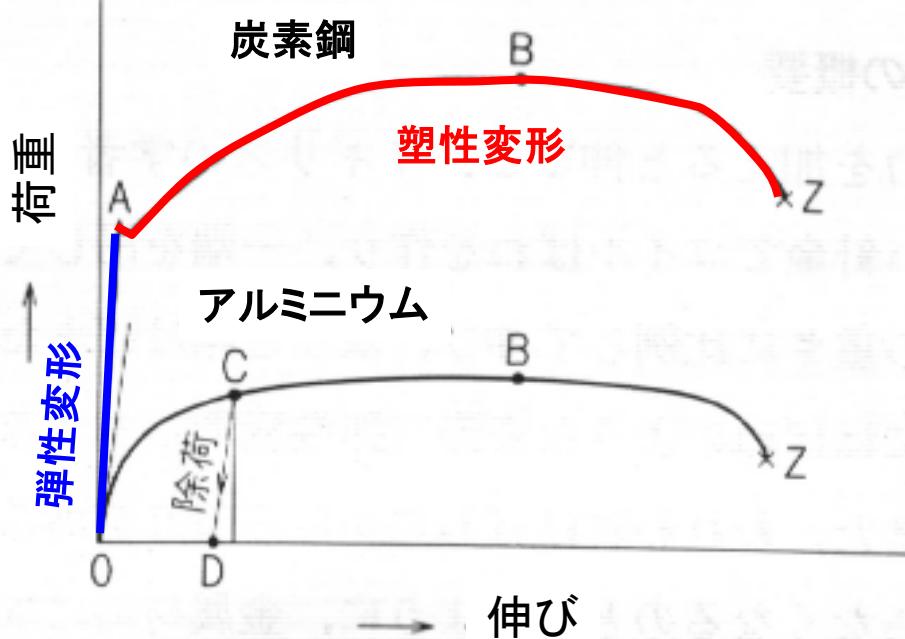
5号試験片(板状)



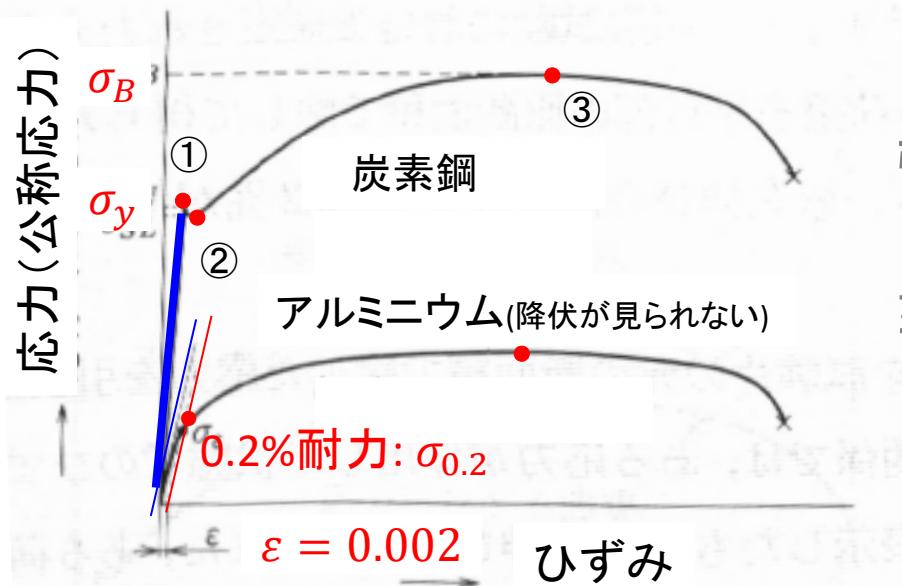
②アムスラー型
油圧で負荷…
大荷重負荷: 良



●荷重 - 伸び



●公称応力-公称ひずみ (nominal stress-nominal strain)



試験前の断面積: A_0 、標点距離: l_0

$$\sigma_n = \frac{P}{A_0}$$

$$\varepsilon_n = \frac{\Delta l}{l_0}$$

弹性変形

$$\text{弾性率(ヤング率)} E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad \text{ポアソン比} \nu = -\frac{\varepsilon_{\text{よこ}}}{\varepsilon_{\text{たて}}}$$

塑性変形

降伏点(降伏応力: σ_y) yield point, yield stress

①上降伏点、②下降伏点

③引張強さ: σ_B 、伸び、絞り

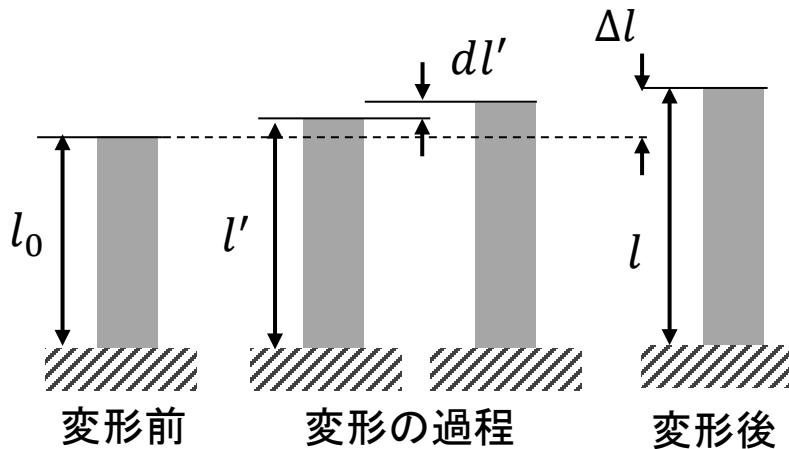
Tensile strength

$$\phi = (A_0 - A) / A_0$$

●真応力-真ひずみ (true stress-true strain)

試験片は最高荷重点まで一様に体積一定で変形(その後、局部収縮が発生)
ある時点の荷重 P をそのときの断面積 A で割ったもの(最高荷重点まで)…真応力

$$\sigma_t = \frac{P}{A} = \frac{P}{A_0} \cdot \frac{A_0}{A} = \sigma_n (1 + \varepsilon_n) \quad \because A_0 l_0 = Al \rightarrow \frac{A_0}{A} = \frac{l}{l_0} = \frac{l_0 + \Delta l}{l_0} = 1 + \varepsilon_0$$



真ひずみ

$$\varepsilon_t = \int_{l_0}^l \frac{dl'}{l'} = \ln\left(\frac{l}{l_0}\right) = \ln(1 + \varepsilon_n) = \ln\left(\frac{A_0}{A}\right)$$

意味

	変形前後の長さ	公称ひずみ	真ひずみ
	100mm → 110mm	10/100=0.100	$\ln(110/100)=0.095$
	110mm → 120mm	10/110=0.091	$\ln(120/110)=0.087$
	100mm → 120mm	20/100=0.200	$\ln(120/100)=0.182$
	100 → 110 + 110 → 120	0.100+0.091=0.191	0.095+0.087=0.182



ある低合金鋼の引張試験の結果

試験前の試験片寸法

直径:5.00mm, 標点距離:50mm

破断後の直径:3.75mm

変位Δl (mm)	荷重P (kN)	公称応力 (MPa)	公称ひず み	真応力 (MPa)	真ひずみ
1	5.5	280	0.02	286	0.020
2	10.7	545	0.04	567	0.039
3	14.6	744	0.06	788	0.058
4	15.2	774	0.08	836	0.077
5	16.1	820	0.10	902	0.095
6	16.8	856	0.12	958	0.113
7	17.3	881	0.14	1004	0.131
8	17.6	896	0.16	1040	0.148
9	17.7	901	0.18	1064	0.166
10	17.3	881	0.20	---	---
11	16.6	845	0.22	---	---
12	13.0	662	0.24	1177	---

$$\sigma_n = \frac{P}{A_0} = \frac{5.5kN}{\pi(5/2)^2 mm^2}$$

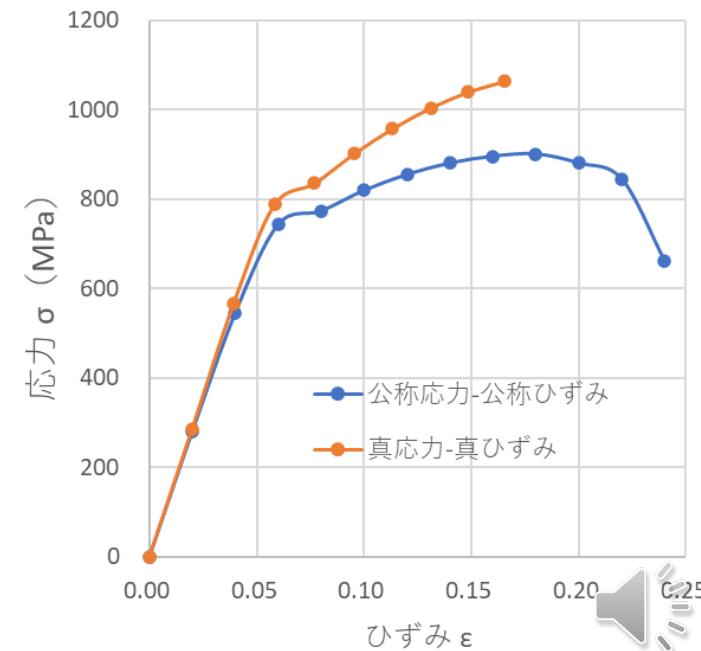
$$= 0.280 \frac{10^3 N}{10^{-6} m^2} = 280 MPa$$

$$\varepsilon_n = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{1mm}{50mm} = 0.02$$

$$\sigma_t = \frac{P}{A} = \frac{P}{A_0} \cdot \frac{A_0}{A} = \sigma_n(1 + \varepsilon_n)$$

$$= 280 MPa \times 1.02 = 286 MPa$$

$$\varepsilon_t = \ln(1 + \varepsilon_0) = \ln(1.02) = 0.020$$



●硬さ試験の種類

押込み硬さ: **圧子**を押し込んだときの変形に対する抵抗(くぼみの表面積当たりの平均応力, 押込み深さ)。ブリネル硬さ、ビックカース硬さ、ロックウェル硬さ。

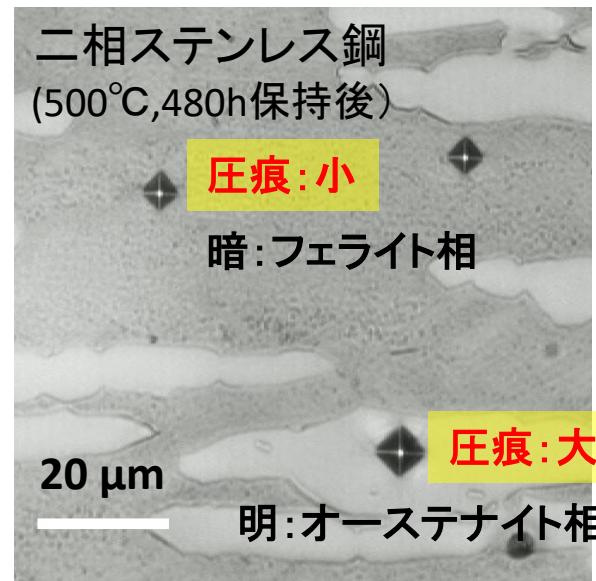
動的硬さ: **衝撃的に**押し込むときの変形に対する抵抗の大きさ、ハンマで打撃したときの反発高さなど。ショア硬さ, etc。

引き掻き: 傷の大きさなどで判定。マルテンス硬さ, etc。

※特徴を理解し、最適な手法・計測条件を選ぶ



ブリネル硬さ
(荷重3000kgf)



マイクロビックカース硬さ
(荷重10gf)



●ブリネル硬さ

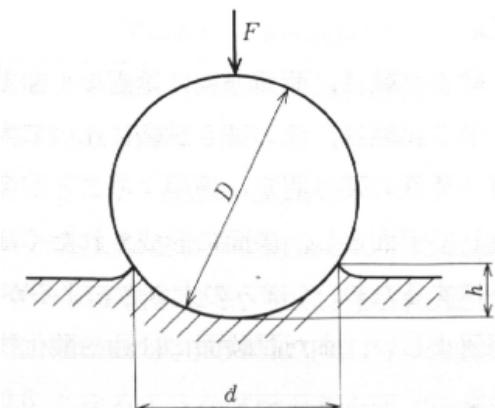
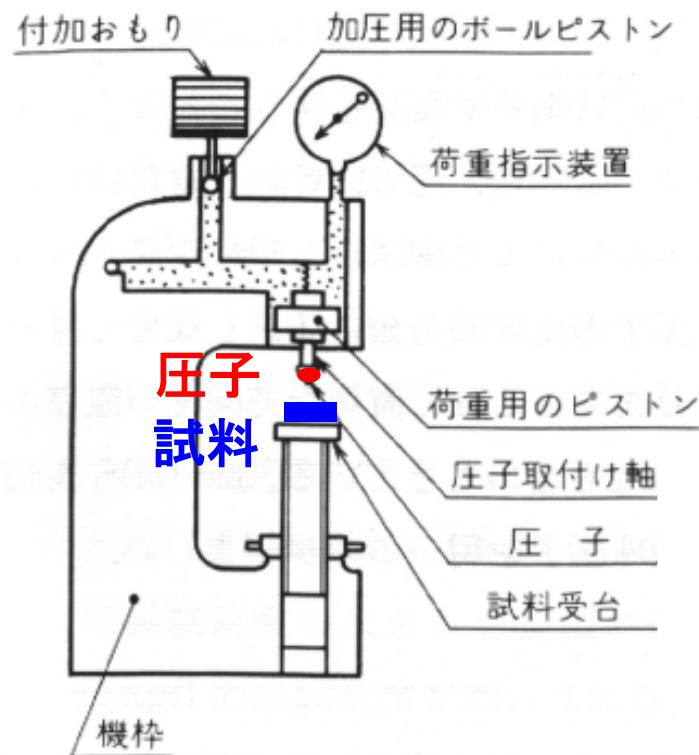
直径 D (mm)の圧子(鋼球or超硬合金球)を試験面に一定荷重 P (kgf)で押付けたときにできるくぼみの球面面積が A (mm^2)のとき、 P/A とする(単位なし)。

$$HB = \frac{P}{A} = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

くぼみの直径 d (mm)、深さ h (mm)
 P の単位がNの場合、0.102倍する

特徴: 通常500~3000kgf、直径: 5 or 10mmの球圧子。数mm程度のくぼみができる。鉄鋼の素材や鑄鉄など、組織の大きい材料の平均的な硬さの評価に適。

注: 圧子の大きさ・荷重を変えると、硬さの値が変化



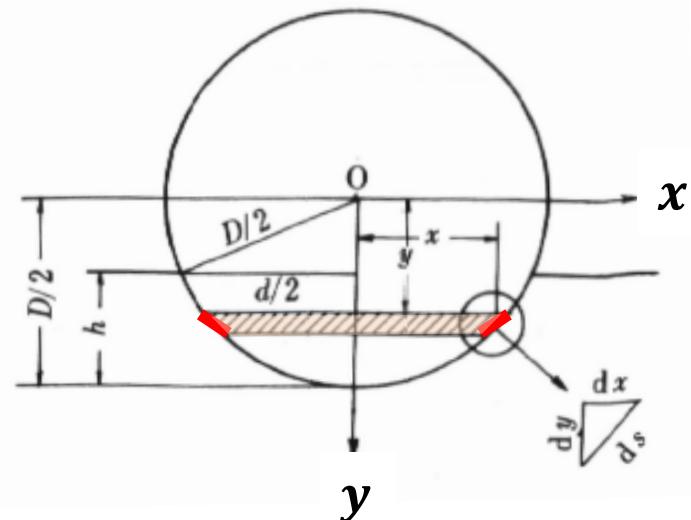
$$x^2 + y^2 = (D/2)^2, \ ds^2 = dx^2 + dy^2$$

→ $2x \cdot \frac{dx}{dy} + 2y = 0 \quad \therefore \frac{dx}{dy} = -\frac{y}{x}$
 yで微分

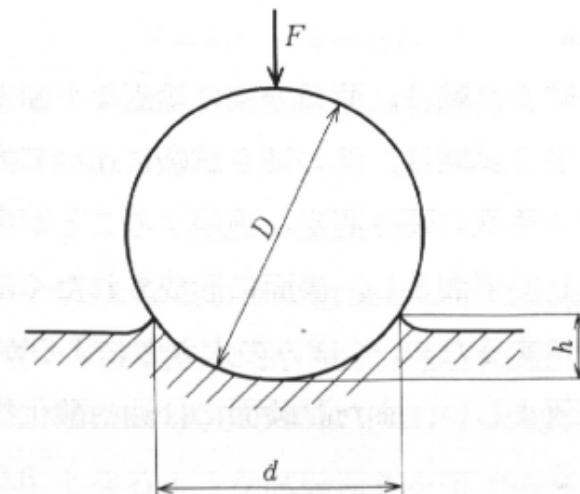
$$\begin{aligned} dA &= 2\pi x \cdot ds = 2\pi x \sqrt{1 + (dx/dy)^2} \cdot dy \\ &= 2\pi x \sqrt{1 + (y/x)^2} \cdot dy = \pi D \cdot dy \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A &= \int_{D/2-h}^{D/2} \pi D \cdot dy = \pi D h \\ &= \pi D \cdot \frac{1}{2} (D - \sqrt{D^2 - d^2}) \end{aligned}$$

$$HB = \frac{P}{A} = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$



くぼみの直径 d (mm)、深さ h (mm)

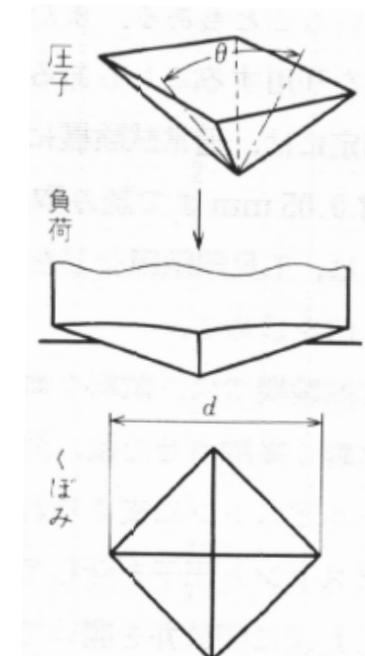


●ビックカース硬さ

正方形底面のダイヤモンド角錐体(体面角 $\theta=136^\circ$)の圧子を、試験面に一定荷重 P (kgf)で押付ける。

くぼみの対角線長さの平均 d (mm)から求めた面積が A (mm²)

$$HV = \frac{P}{A} = \frac{2P}{d^2} \sin \frac{\theta}{2} = 1.8544 \frac{P}{d^2}$$

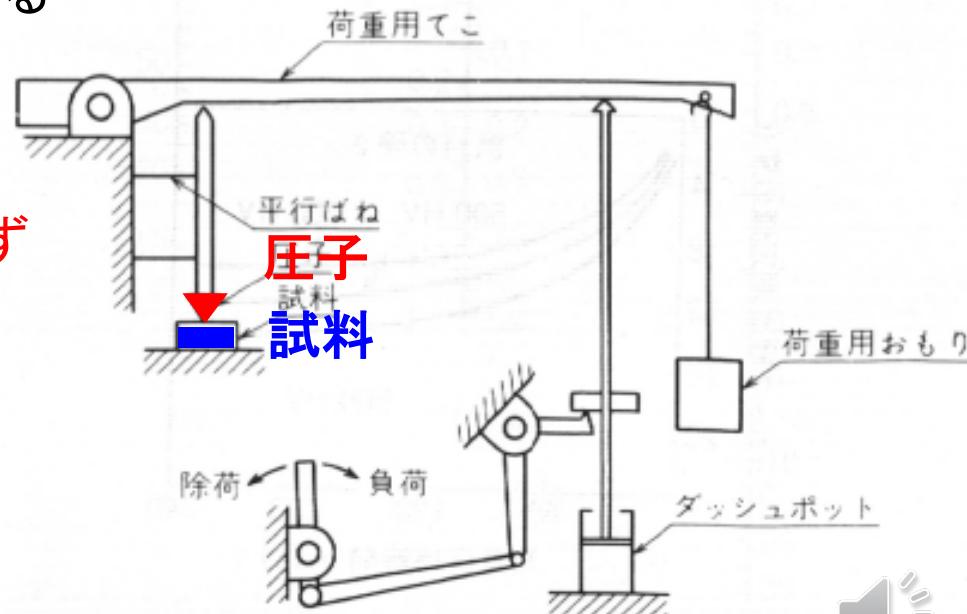


P の単位が[N]の場合、0.102倍する

特徴：くぼみの形状が相似形となり、均一な試料では試験荷重の大きさによらずほぼ同一の硬さ値に。

そのため、試験対象の大きさ(小さい試料や局部)により荷重を自由に選ぶことができる。通常5~50kgf。

(1kgf以下:微小ビックカース硬さ試験)

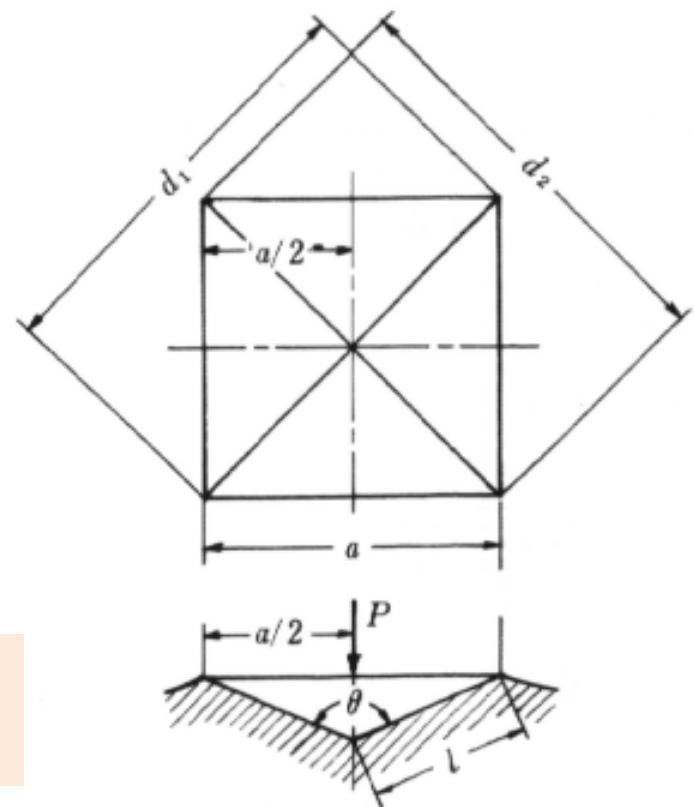


$$d = (d_1 + d_2)/2 \rightarrow a = d/\sqrt{2}$$

$$l \sin \frac{\theta}{2} = \frac{a}{2} = \frac{d}{2\sqrt{2}}$$

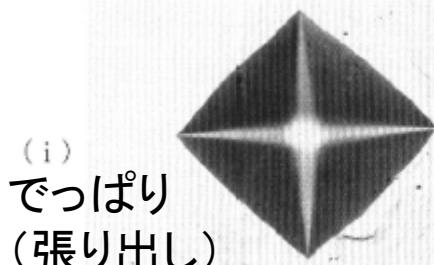
$$\begin{aligned} A &= 4 \left(\frac{1}{2} l a \right) = 2 \left(\frac{d}{2\sqrt{2} \sin(\theta/2)} \right) \left(\frac{d}{\sqrt{2}} \right) \\ &= \frac{d^2}{2 \sin(\theta/2)} \end{aligned}$$

$$HV = \frac{P}{A} = \frac{2P}{d^2} \sin \frac{\theta}{2}$$



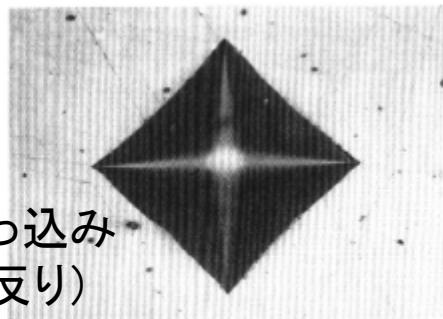
参考

S45Cの焼入れ後
600°C焼き戻し材



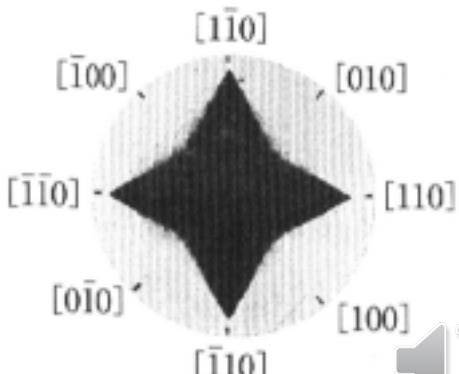
(i)
でっぱり
(張り出し)

銅の焼なまし材



引っ込み
(反り)

単結晶Cu (001)



異方性



①-③：組織・構造, ④-⑥：化学組成・結合状態

⑦ 熱分析 ⑧ 力学特性(引張・硬さ試験)

● 引張試験

応力ひずみ曲線

(公称応力-公称ひずみ)

(真応力-真ひずみ)

降伏応力、0.2%耐力、引張強さ

● 硬さ試験

ブリネル硬さ、ビッカース硬さ

次回は ⑨：衝撃試験・破壊靭性試験

参考書：

金属材料試験マニュアル 日本規格協会

演習・材料試験入門 砂田 大河出版

硬さ試験の理論とその利用法 中村 森北出版

