

## 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](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)

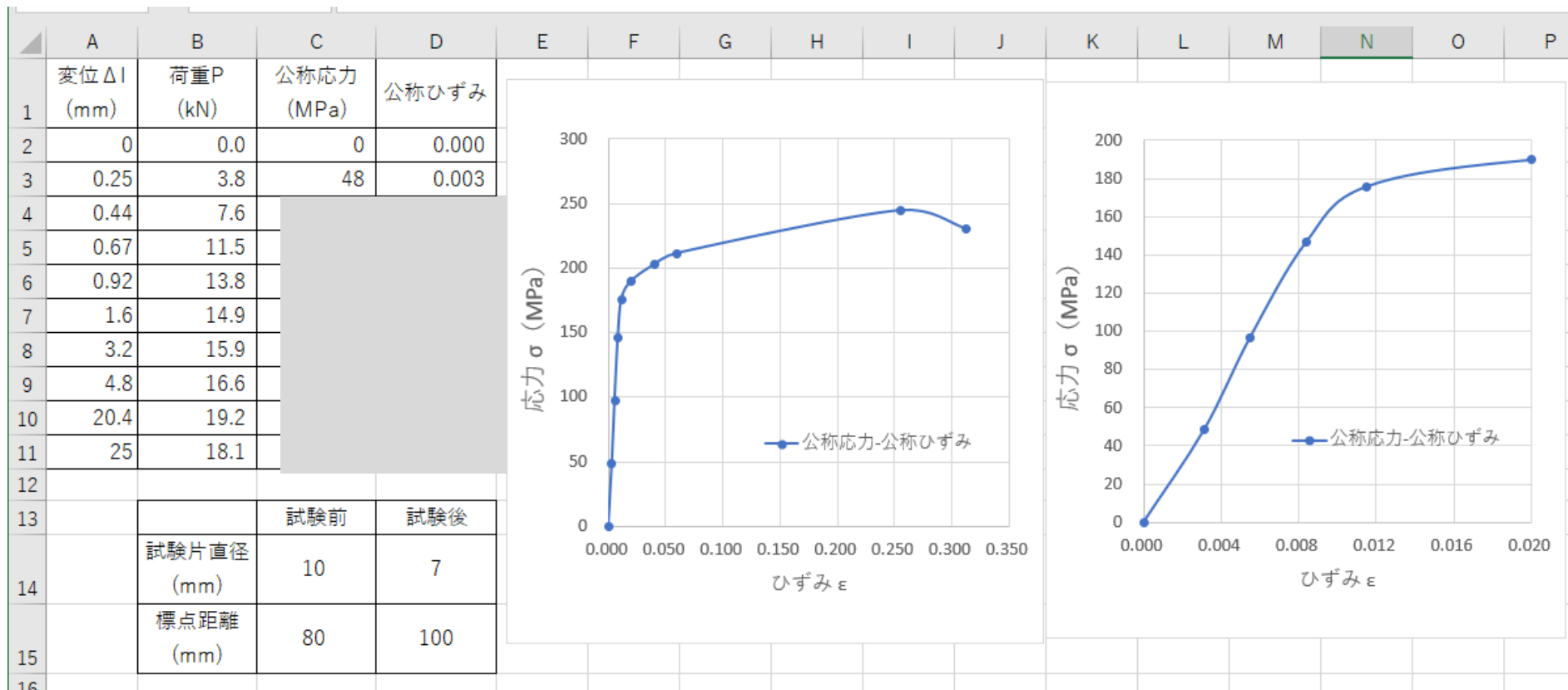
<https://www.youtube.com/watch?v=smkjXRcBSfQ> 金属の硬さ試験 5:00

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

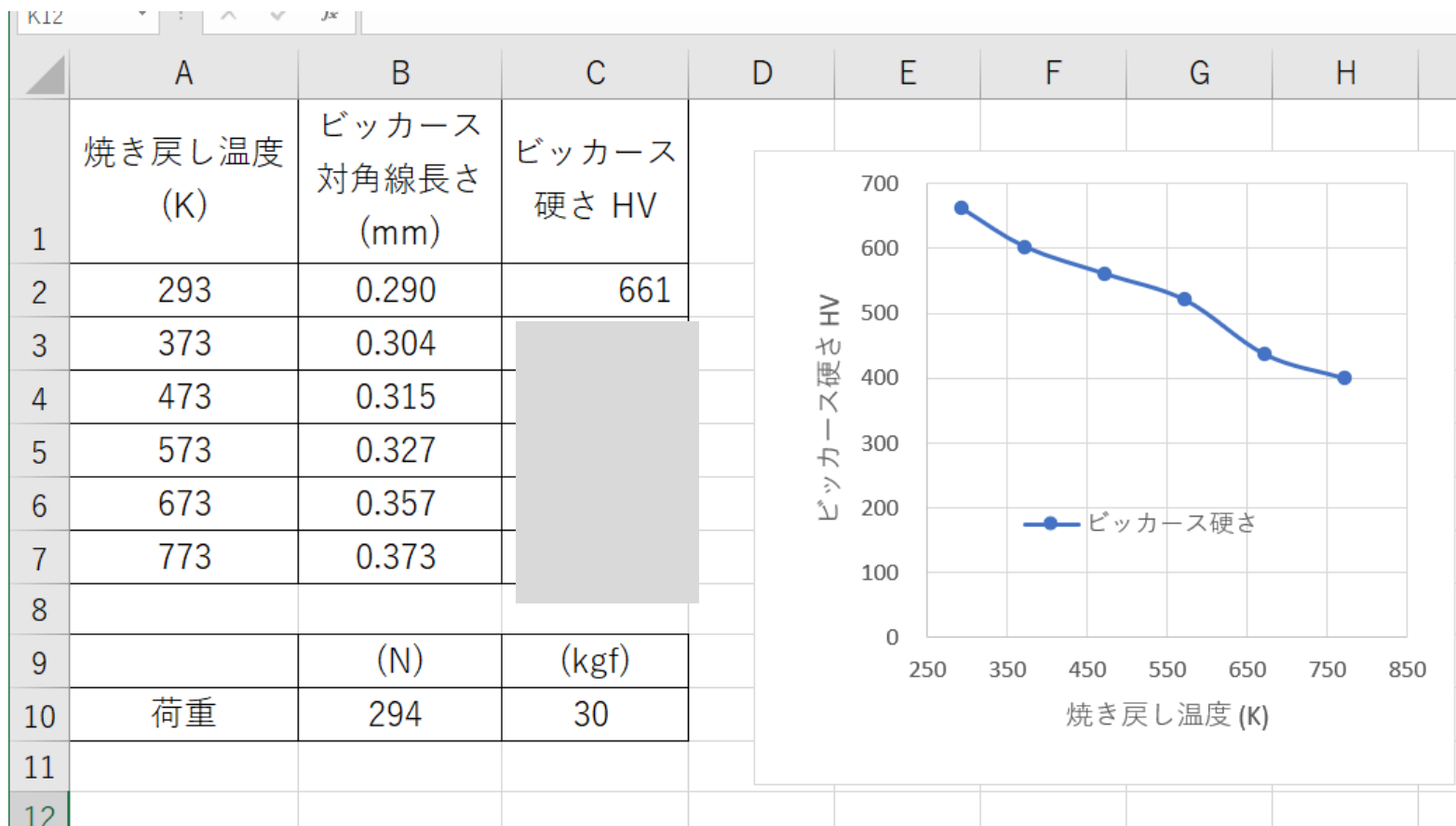
<https://www.youtube.com/watch?v=7Z90OZ7C2jl> Vickers Hardness Test 2:32



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

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)



第8回

鎌田

## ●材料の変形・・・2種類

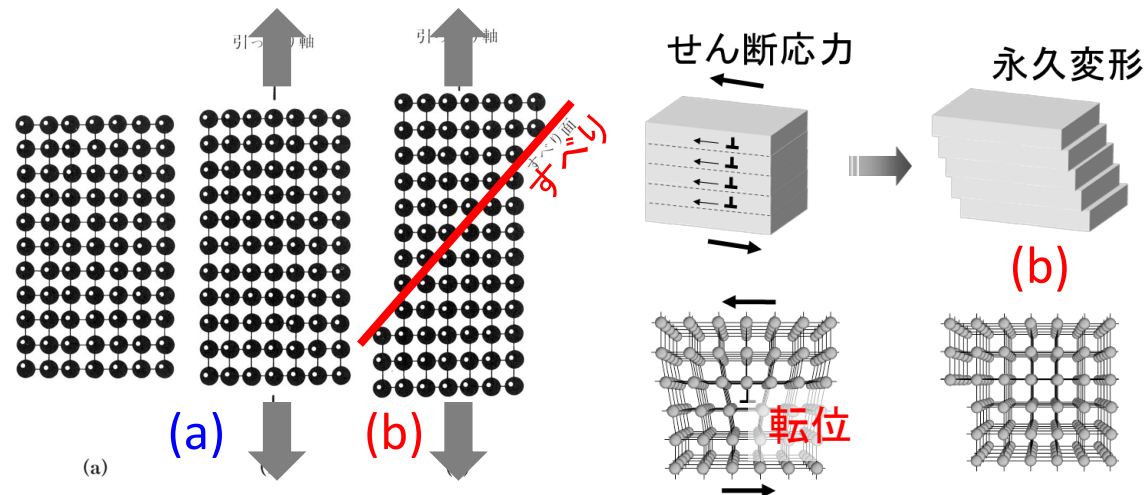
(a)弾性変形(elastic deformation)

: 元に戻る・・・原子間結合の強さ

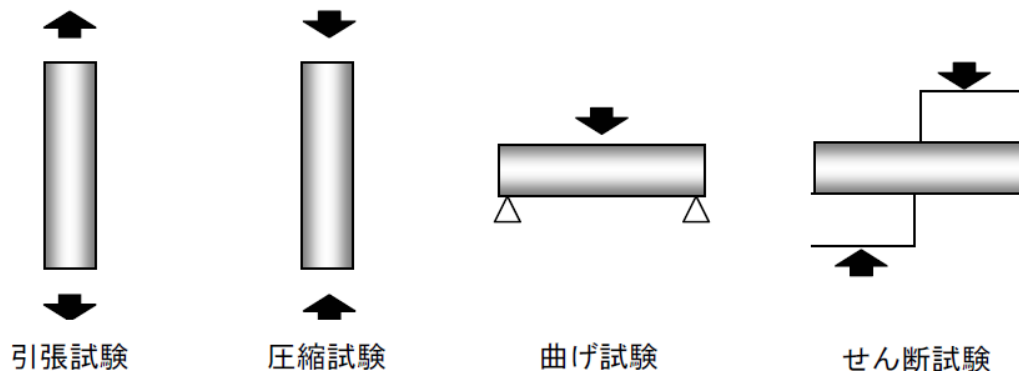
(b)塑性変形(plastic deformation)

: 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

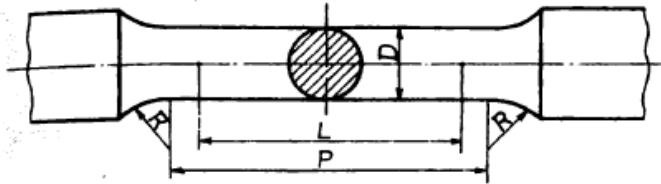


引張、圧縮、曲げ、せん断、  
硬さ、衝撃、疲労、クリープ試験ほか

# ●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)



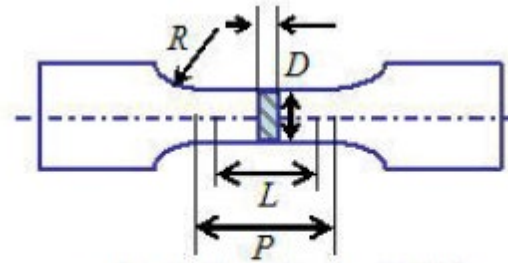
単位 mm

径 $D$	標点距離 $L$	平行部の長さ $P$	肩部の半径 $R$
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。



幅  $D = 25$

$L = 50$

$P = \text{約}60$

$R > 15$

5号試験片 (板状)

## ●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

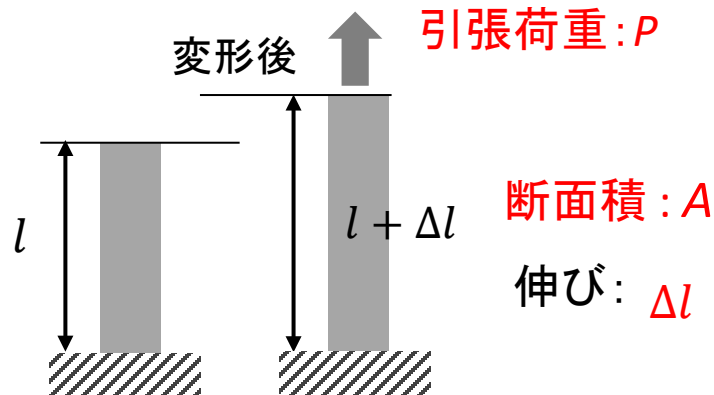
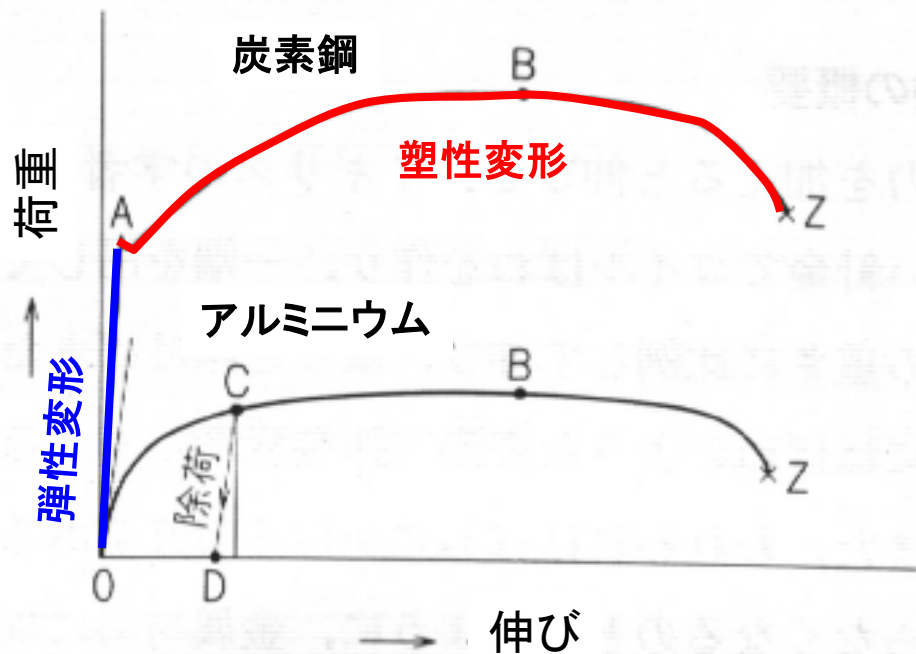


②アムスラー型

油圧で負荷・・・  
大荷重負荷: 良



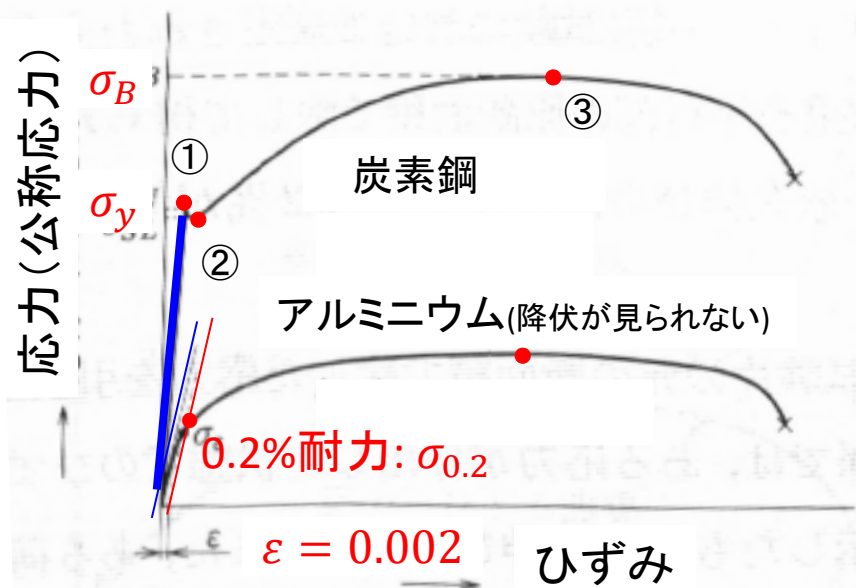
# ●荷重 - 伸び



垂直応力  $\sigma = \frac{P}{A}$  (Pa)

垂直ひずみ  $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$  単位なし

# ●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:  $l_0$

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

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

弾性変形

弾性率(ヤング率)  $E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$

ポアソン比  $\nu = -\frac{\varepsilon_{よこ}}{\varepsilon_{たて}}$

塑性変形

降伏点(降伏応力:  $\sigma_y$ ) yield point, yield stress

①上降伏点、②下降伏点

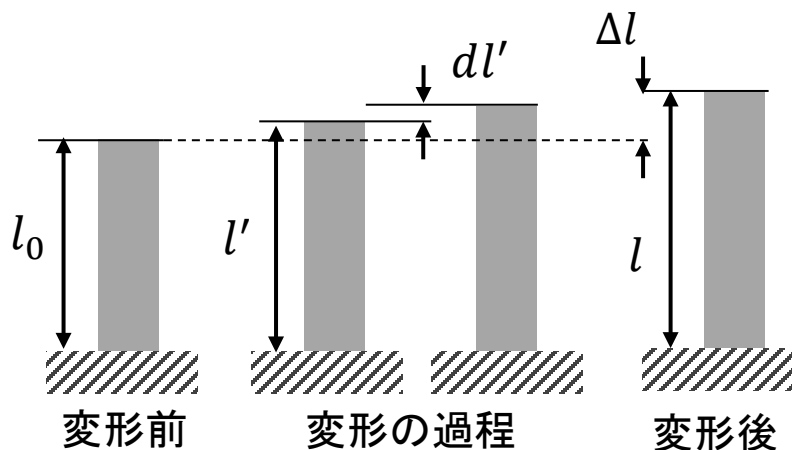
③引張強さ:  $\sigma_B$ 、伸び、絞り  $\phi = (A_0 - A) / A_0$

Tensile strength

## ●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**

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



**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= <b>0.200</b>	ln(120/100)= <b>0.182</b>
100 → 110 + 110 → 120	0.100+0.091= <b>0.191</b>	0.095+0.087= <b>0.182</b>



# 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 $\Delta l$ (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	---

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

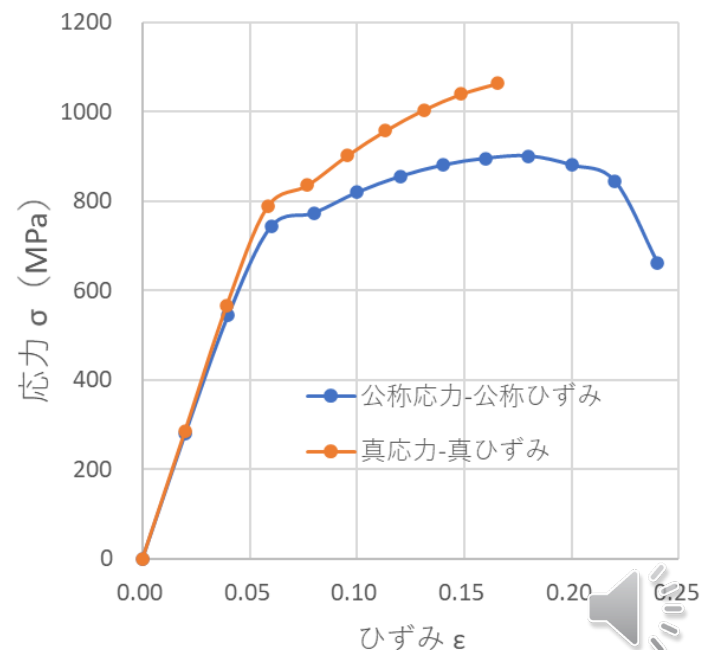
$$= 0.280 \frac{10^3 N}{10^{-6} m^2} = 280 MPa$$

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

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

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

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





# ●硬さ試験の種類

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

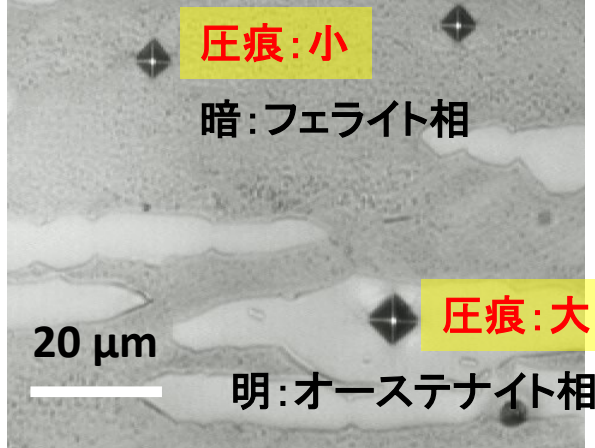
片状黒鉛鑄鉄



1cm

**ブリネル硬さ**  
(荷重3000kgf)

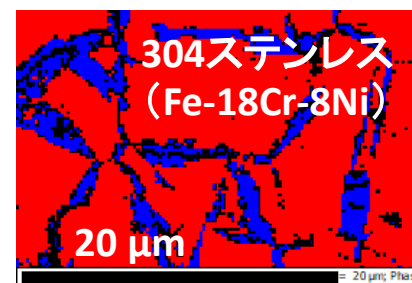
二相ステンレス鋼  
(500°C, 480h保持後)



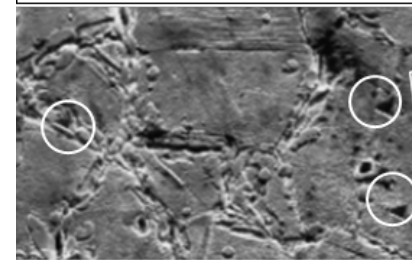
**マイクロビッカース硬さ**  
(荷重10gf)



**ナノインデントー** (荷重 0.3gf)



EBSD  
赤: fcc  
青: bcc



SEM

# ●ブリネル硬さ

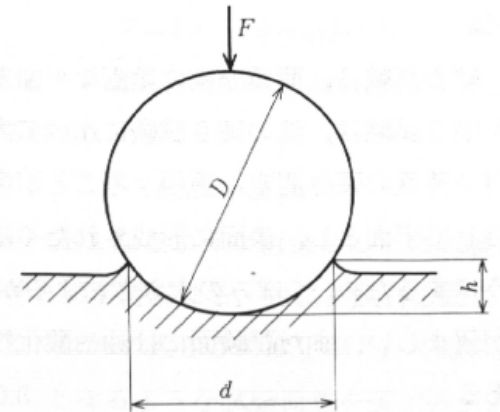
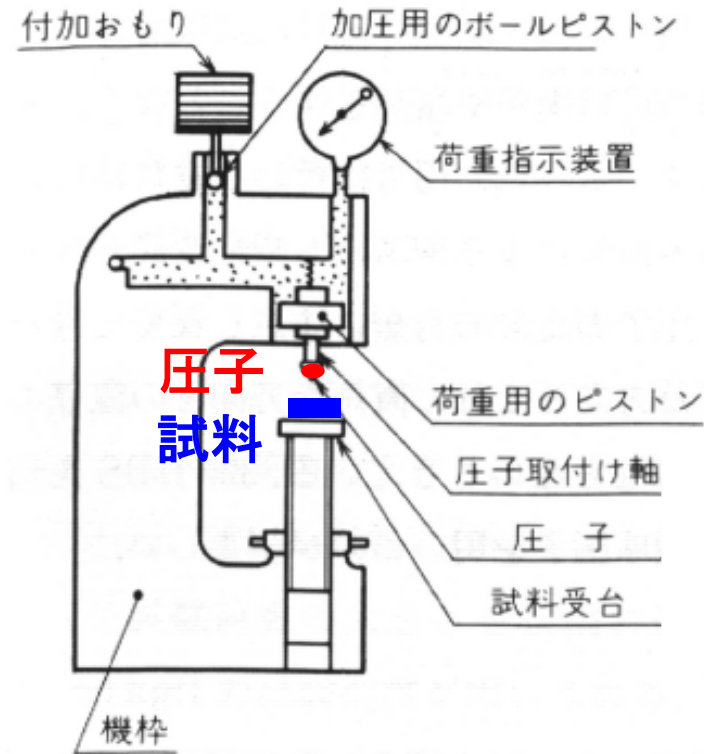
直径 $D$  (mm)の圧子(鋼球or超硬合金球)を試験面に一定荷重 $P$  (kgf)で押付けたときにできるくぼみの球面面積が $A$  (mm<sup>2</sup>)のとき、 $P/A$ とする(単位なし)。

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

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。鉄鋼の素材や鋳鉄など、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



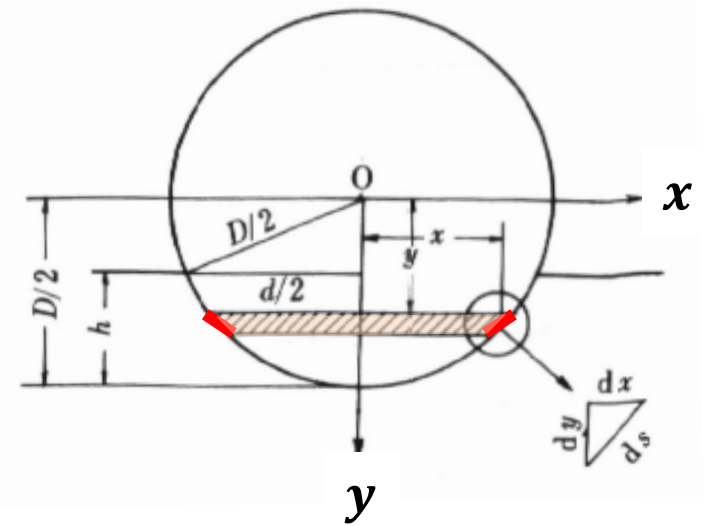
$$x^2 + y^2 = (D/2)^2, \quad ds^2 = dx^2 + dy^2$$

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

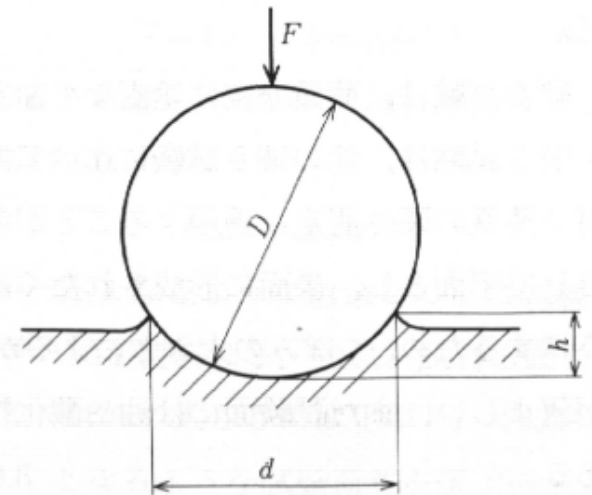
$$\begin{aligned}
 dA &= 2\pi x \cdot ds = 2\pi x \sqrt{1 + (dx/dy)^2} \cdot dy \\
 &= 2\pi x \sqrt{1 + (y/x)^2} \cdot dy = \pi D \cdot dy
 \end{aligned}$$

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

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



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 $A$  (mm<sup>2</sup>)

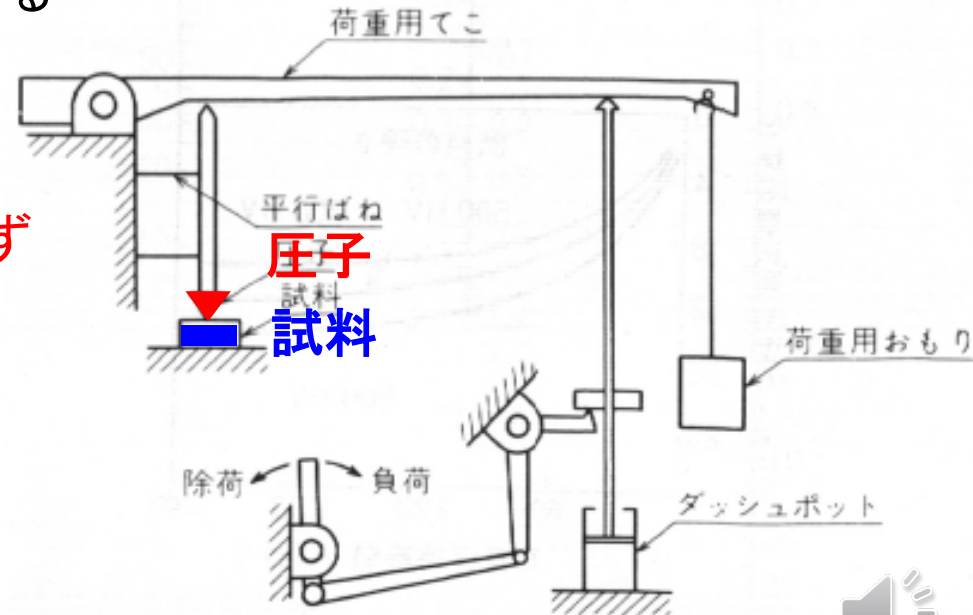
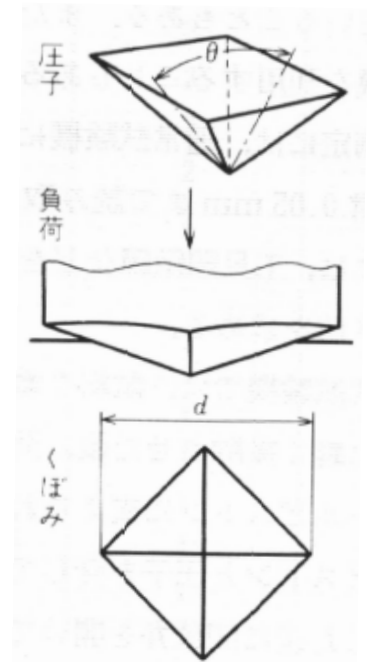
$$HV = \frac{P}{A} = \frac{2P}{d^2} \sin \frac{\theta}{2} = 1.8544 \frac{P}{d^2}$$

$P$ 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**)



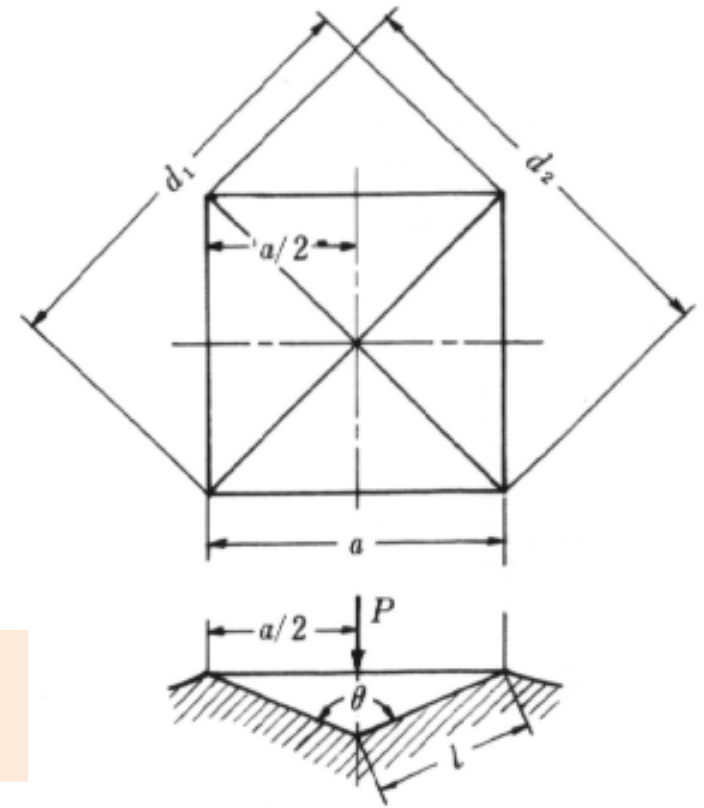
$$d = (d_1 + d_2)/2 \rightarrow a = d/\sqrt{2}$$

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

$$A = 4 \left( \frac{1}{2} la \right) = 2 \left( \frac{d}{2\sqrt{2} \sin(\theta/2)} \right) \left( \frac{d}{\sqrt{2}} \right)$$

$$= \frac{d^2}{2 \sin(\theta/2)}$$

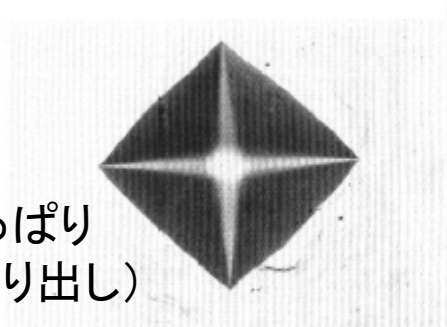
$$HV = \frac{P}{A} = \frac{2P}{d^2} \sin \frac{\theta}{2}$$



参考

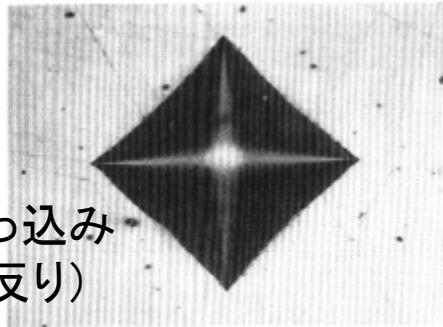
S45Cの焼入れ後  
600°C焼き戻し材

(i)  
でっぱり  
(張り出し)

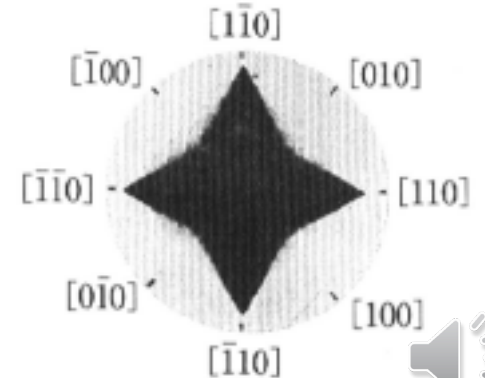


銅の焼なまし材

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・破壊靱性試験

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

