

材料評価学 第7回

- 前回： 引張試験における
- ・ 応力集中
 - ・ Griffith の破壊モデル
 - ・ 弾性ひずみエネルギー

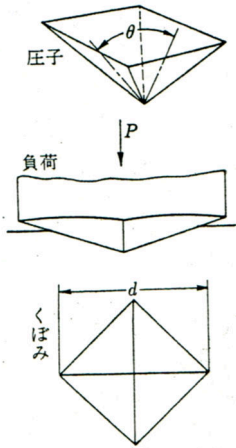


- 今回： 硬さ試験における
- ・ 「硬さ」とは？
 - ・ ブリネル硬さ試験
 - ・ ビッカース硬さ試験

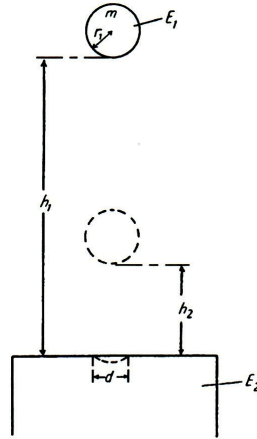
7. 硬さ試験 1

7.1 「硬さ」とは? : 他の物体によって変形が与えられたときに材料が示す抵抗の度合い.

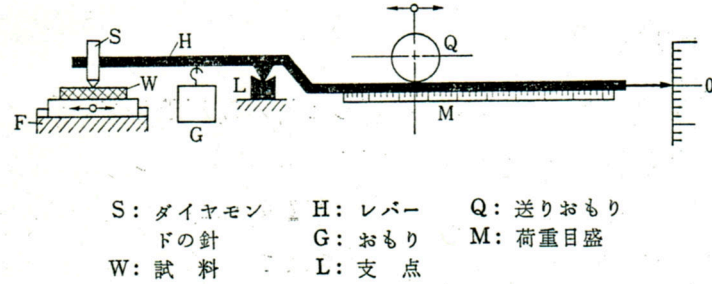
●硬さ試験の種類



(a) 押し込み硬さ試験



(b) 動的硬さ試験



S: ダイヤモンドの針 H: レバー Q: 送りおもり
W: 試料 G: おもり M: 荷重目盛
L: 支点

(c) 引きかき硬さ試験

図 7.1 硬さ試験の種類

- ↓
- ブリネル
 - セッカーズ
 - ロックウェル

- ↓
- ヲヨア

- ↓
- マルテンス

●硬さ試験の全般的特徴

- ① 試験実施時に必要な面積が小さく、所要時間も短い。
- ② 通常、特別な形状・寸法の試験片を準備する必要はない。
- ③ 非破壊検査として用いられる。

7.2 ブリネル硬さ

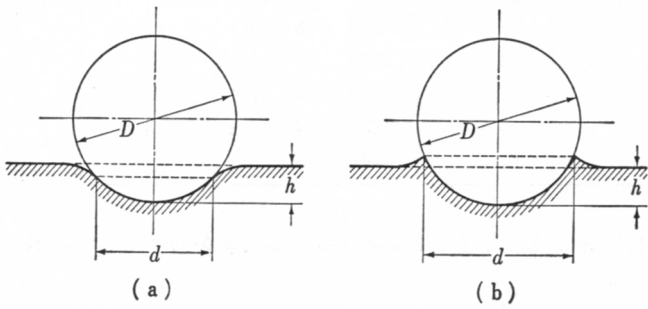


図 7.2 ブリネル硬さ

$$HB = \frac{W}{S} = \frac{2W}{\pi D \left(D - \sqrt{D^2 - d^2} \right)}$$

・圧子: 鋼球圧子 (1mm~10mmの範囲)

・荷重範囲: 500kgf~3000kgf (JIS)

・定義: 圧子と試料表面に押し込んだ荷重 W と、形成されたくぼみの表面積 S で除す。

ブリネル硬さ: HB

kgf/mm² ... 圧力. 応力と同じ
次元だが
HBには単位を
付けない!

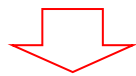
●ブリネル硬さ試験実施上の注意点

①試料表面: 圧子に対して垂直、表面仕上げ

②試料寸法: 試料厚さはくぼみの10倍以上
幅は .. 直径の数倍以上



③試料と圧子の硬さ: 試料硬さがHB450以上になると、圧子自体が塑性変形してはらう。



・超硬合金 (WC-Co) 球圧子の使用により回避可能 ... 鋼球圧子との差
→ 圧子材質を明記する必要あり

④圧子直径 D と荷重 W の選定:

・くぼみ直径 d が $0.2 \sim 0.5 D$ とできるように荷重を選定する必要が有る。

・異なる荷重を用いる場合は「 W/d^2 」を一定にすることで、相似則が満たされる
= 一定の硬さ値となる。

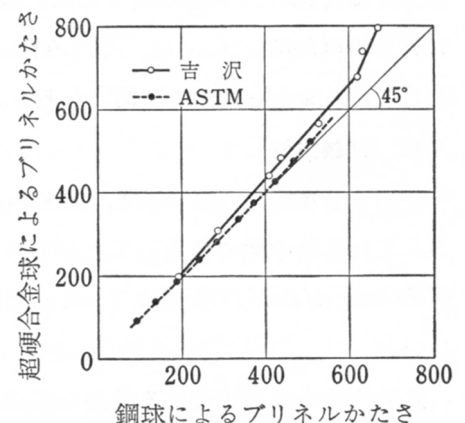
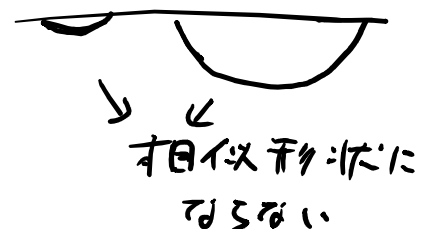


図 7.3 圧子材質がブリネル硬さに及ぼす影響



7.3 ビッカース硬さ

ビッカース硬さ試験の実施風景映写(5分程度)

・問い: 硬さ試験の結果は材料のどのような特性と関連付けられるか?

- ・ せい性、割れか?
- ・ 応力集中

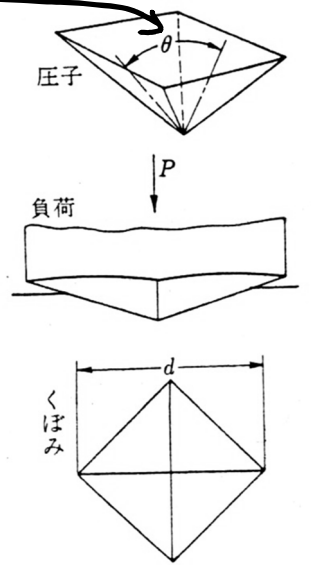
くぼみ = 永久変形 (塑性変形) の特徴の大小

↓
「変形強度」と関連する

・ 圧子: ダイヤモンド正四角錐 (対面角: 136°)

・ 荷重範囲: 1kgf ~ 50kgf

・ 定義: ブリネルと同一、WとSで除可



くぼみ表面積

↓ → 図7.4ではθ, 対面角

$$HV = \frac{W}{S} = \frac{2W \sin(\alpha/2)}{d^2} = 1.854 \frac{W}{d^2} \leftarrow \text{kgf}$$

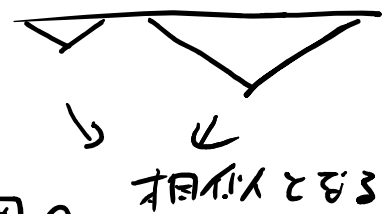
図7.4 ビッカース硬さ

注: 近年ではSIへの対応として $HV = 0.1891 \frac{W}{d^2}$ W : N単位の荷重
という式が用いられている。

$$\uparrow \frac{1.854}{9.80665 \dots}$$

●ビッカース硬さの特徴

① くぼみ形状は荷重により常に相似になる。



② ダイヤモンド圧子の使用 → 試料の適用範囲の拡大

↓ 相似になる

●ビッカース硬さ試験実施上の注意点

- ①試料表面: フリネルが高いほどレベルが歪められる
→ 鏡面仕上げ、
- ②試料寸法: フリネルと同様
- ③試験荷重: 特に制限はないが、可能な限り大きい荷重を選択した方がくぼみ読み取り精度は上がる。

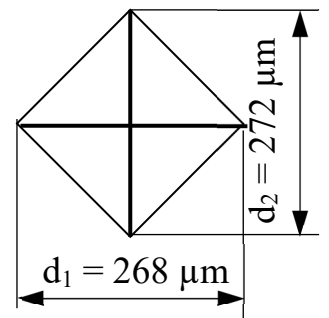
・例題: 炭素鋼試験片に対して、押し込み荷重 $W = 10.0 \text{ kgf}$ にてビッカース硬さ試験を行ったところ、下図のようなくぼみを得られた。ビッカース硬さの定義式 $HV = 1.854 \frac{W}{d^2}$ よりビッカース硬さ値 HV を求めよ。

$$d_{ave} = 270 \mu\text{m} = 0.270 \text{ mm}$$

$$W = 10.0 \text{ kgf}$$

$$\therefore HV = 259.32 \dots = \underline{259}$$

硬さ値は
1の位が3
の値
と93



7.4 第7回講義に関する意見・感想・質問のまとめ

●意見・感想

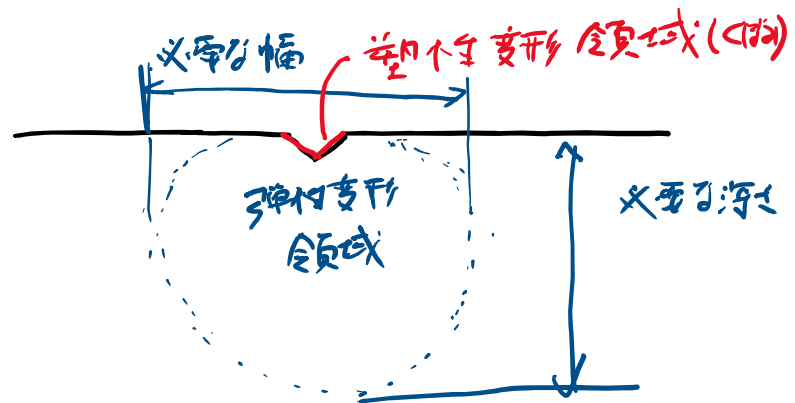
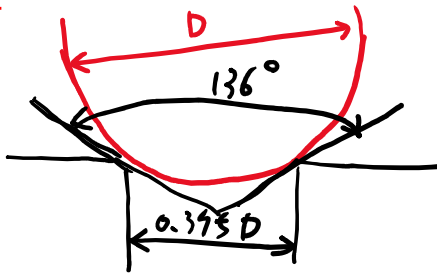
- ・小テストの途中まで授業のように応力についての式を求めていた、今日の小テストは簡単だった、小テストの計算ミスが多い、限界き裂長さの意味を誤って覚えていた、小テストができた、難易度はちょうど良かった、小テストで単位の変換に時間がかかった、自分は最初から何を求めたいか考えて解けたので良かった、小テストをやりながら a と $2a$ が分からなくなった、最初の不等式の条件があったことを見落としていたのが悔しかった、どのような式も単位を考慮することが大事であると感じた、 $J/m^2 \rightarrow N/m$ の単位変換ができなかった、小テストが難しかった、 $GPa \rightarrow N/m^2$ の変換でミスしてしまった:14 ← 今回の小テストは平均 6.6 点、満点 8 名でした。典型的な誤りとして ①Q.2 を「 $a=\dots$ 」で計算(正しくは「 $2a=\dots$ 」), ②Q.1 で等号の式を導出, ③Q.2 で単位換算の間違い(数値的には合っているが桁が合わない), という 3 パターンが多く見られました。
- ・硬さの基礎を公式や条件と比べて理解を深めた、硬さ試験は様々な条件を課すことで正確な材料評価をできるようにしており面白かった、ビッカース硬さ試験について基本的な理論と注意点について理解できた、どれくらいのくぼみができるかで硬度を測定する方法は理解しやすい、ブリネル硬さを踏まえて欠点を補うビッカース硬さが誕生したことを理解できた、硬さ試験の実験をしてみたい:11
- ・表面積の求め方が意外と複雑できちんと確認する、硬さ試験を実際に活用するのでしっかり勉強する、しっかり理解できるようにする、しっかり勉強したい、復習を怠らない、くぼみの表面積を使うことを忘れそうなので復習する、前回休んだ分頑張る、塑性変形に関する内容を重点的に復習する:10
- ・動画を見たり理解しやすかった、それぞれの硬さ試験の特徴や違いが分かりやすくまとめられていた、ブリネル硬さとビッカース硬さについてよく理解できた、内容がよく分かった、ポイントをしっかり抑えられるような解説だった、動画があると分かりやすい、動画を見て実験へのイメージを持つことができた、材料科学実験の予習になった:9
- ・新しい知識がどんどん増えていく、覚えることが多い、後半になって内容も新しいものが増えてきた、硬さ試験で残りあと 3 種類あると思うと大変だ:5
- ・応力と同じ次元を持つ HB には単位をつけないことに気をつける、いまだに「塑性変形」のイメージを間違ってしまうので間違えないようにする、W の単位で kgf と N の取り扱いについて気をつける、硬さ値を 1 の位からの値に直し忘れそうなので気をつける、最後の例題を自分で解いて HV を求められるようにしておく:5 ← いずれも大事なポイントだと思いますので、書いた人以外でも思い当たる人は注意した方がいいですね。
- ・問いについて予想が当たっていた ← 当たってなくても勿論いいんですが、当たっていたなら尚更発言すれば良かったですね。
- ・寝不足だったので授業に集中できなかった ← CL でも見てたんですか？

●質問

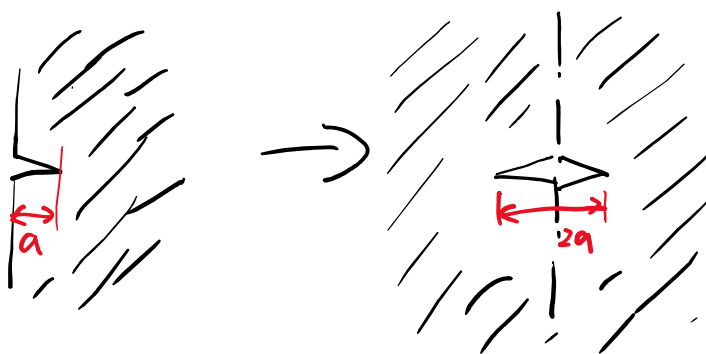
- ・鏡面仕上げが硬さ試験に影響することはないのか(転位密度が大きくなるなど)? ← いい質問ですね、その通りです。鏡面仕上げとは材料の表面の粗さ(凹凸)の凸部を塑性変形により除去することですので、結果的に表面のごく近傍領域は加工硬化します(これを「加工硬化層」と呼びます)。硬さ試験による圧子の押し込み深さが加工硬化層より十分深ければ硬さ試験結果には影響しませんが、同等もしくは加工硬化層より浅ければ硬さ試験結果に影響します(本来の材料の硬さ値より高い結果となる)。
- ・硬さ値は硬度と考えていいのか? ← 世の中には幾つかの「硬度」という尺度があり、比較的聞くのは鋳物等の硬さの指標である「モース硬度」ですね。授業で扱っているのは工学的に規格化された硬さでありモ

一ス硬度とは関係ありませんが、工学的硬さも「硬度」と表記する場合があります(例:この材料の表面硬度は〜…といった使い方).

- ・ブリネル硬さ試験で圧子材質による影響は補正する必要があるのか? ←補正は基本的に行いません. 現状では積極的に鋼球圧子を使う意味はありませんが, 過去のデータとの互換性を保つために必要かと思えます. 現在は超硬合金圧子の使用が基本となっています.
- ・HB と HV は同じ物質だと同じ値になるのか? ←これもいい質問ですね, 授業中にブリネル硬さの条件として「 $d=0.2\sim 0.5D$ 」を示しましたが, ビッカース圧子の対面角はブリネル硬さにおいて下左図のように $d=0.375D$ と等価になるように決められています. よってそれほど硬くない材料であれば $HB=HV$ となります.



- ・試料寸法の条件でなぜ表面積でなく幅で比べるのか? ←結局, この寸法の条件は上右図のように「圧子押し込みによる材料中の弾性変形領域に干渉しない」範囲を考慮しています. ですので, 深さと幅を規定できれば用が足りる, ということです.
- ・前回の内容でき裂長さが $2a$ になる理由を確認したい, なぜ $2a$ にする必要があったのか? ←き裂の取り扱いについては, 破壊力学という学問分野の中で様々なモデルが検討されてきていて, 例えば有限平板(材料に端部がある場合)の端部に存在するき裂に関しては下図のように「 a 」がき裂長さとして定義されています. Griffith の破壊モデルは, この有限平板のモデルを軸対象にして無限平板として拡張したものと考えられますので, き裂長さは「 $2 \times a$ 」として定義された, ということです.



7.5 第6回小テスト解答

Q.1 き裂進展によって解放される弾性ひずみエネルギーの変化分 $\frac{dU}{da} = \frac{2\pi a\sigma^2}{E}$, および き裂進展に必要な表面エネルギーの変化分 $\frac{dT}{da} = 4\gamma$ より, ぜい性破壊する限界き裂長さを与える式を導出せよ. [6点]

A.1 $\frac{dU}{da} \geq \frac{dT}{da}$ の両辺に上記の関係を代入して整理する.

$$\frac{2\pi a\sigma^2}{E} \geq 4\gamma$$

$$\therefore 2a \geq \frac{4\gamma E}{\pi\sigma^2}$$

Q.2 ぜい性体である熔融石英無限平板 ($\gamma = 4.30 \text{ J/m}^2$, $E = 70.0 \text{ GPa}$, 単位厚さ) に $\sigma = 35.0 \text{ MPa}$ の引張応力を負荷するとき, ぜい性破壊する限界き裂長さを求めよ. [4点]

A.2 $2a \geq \frac{4\gamma E}{\pi\sigma^2}$, $\gamma = 4.30 \text{ J/m}^2 = 4.30 \text{ N}\cdot\text{m/m}^2 = 4.30 \text{ N/m}$

$$E = 70.0 \text{ GPa} = 70.0 \times 10^9 \text{ N/m}^2$$

$$\sigma = 35.0 \text{ MPa} = 35.0 \times 10^6 \text{ N/m}^2$$

$$\therefore 2a \geq \frac{4\gamma E}{\pi\sigma^2} = \frac{4 \cdot 4.30 \cdot 70.0 \times 10^9}{\pi \cdot (35.0 \times 10^6)^2} = 3.128 \dots \times 10^{-4} \text{ m}$$

き裂長さ $2a = 0.313 \text{ mm}$ 以上のき裂でぜい性破壊する.