

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



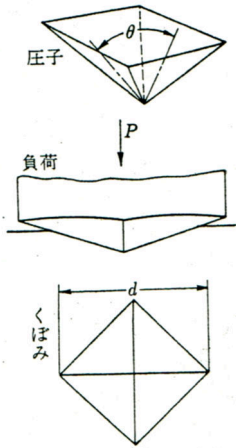
- 今回： 硬さ試験における
- ・ 「硬さ」とは？
 - ・ ブリネル硬さ試験
 - ・ ビッカース硬さ試験

7. 硬さ試験 1

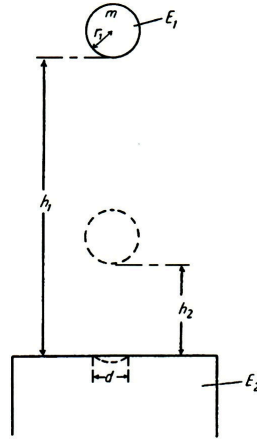
7.1 「硬さ」とは？:

他の物体との接触によって変形が与えられることに物体が示す抵抗の度合。

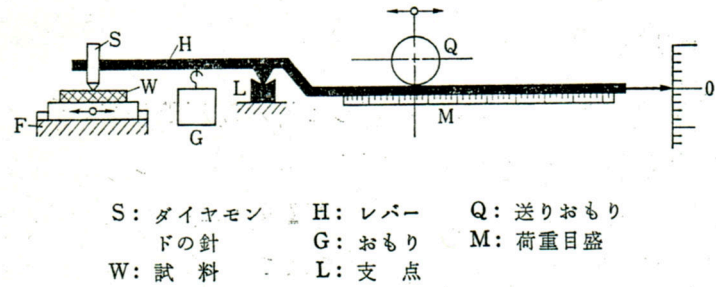
●硬さ試験の種類



(a) 押し込み硬さ試験



(b) 動的硬さ試験



(c) 引きかき硬さ試験

図 7.1 硬さ試験の種類

○ 主な試験手法

- ・ブリネル
- ・ビッカース
- ・ロックウェル

・ツォア

本科目で扱う

・マルチネス

●硬さ試験の全般的特徴

- ① 試験実施に必要な面積が小さく、試験時間も短い。
- 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 非破壊試験と見なせる。

7.2 ブリネル硬さ

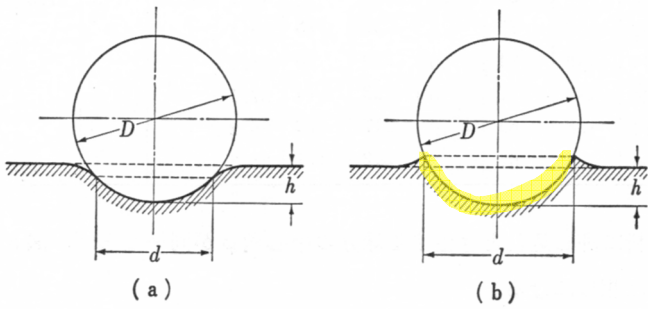


図 7.2 ブリネル硬さ

- ・圧子: 金剛球圧子 (直径1~10mm)
- ・荷重範囲: 500 kgf ~ 3000 kgf
- ・定義: 圧子と試料表面に押し込んだ荷重 W を、押しこんだ表面積 S で除した値。

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

… HBに単位は付かない
(次元的には単位面積あたりの荷重)

●ブリネル硬さ試験実施上の注意点

- ①試料表面: 荷重軸に垂直, 表面仕上げ必要
- ②試料寸法: 試料厚さはくぼみ深さの10倍以上、幅は直径の数倍
- 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しまう。

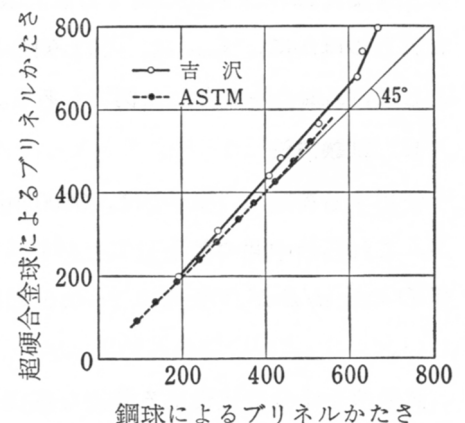
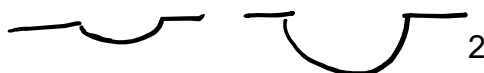
↓
・超硬合金(WC-Co焼結材料)製球圧子の使用により回避可能

④圧子直径 D と荷重 W の選定:

・くぼみ直径 d が $0.2 \sim 0.5D$ とおけるような荷重 W を選択することを推奨。

・異なる数種類の荷重を用いる場合:

「 W/D^2 」を一定にすることで原理的に同一の硬さ値が得られる。



鋼球によるブリネルかたさ
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?

・降伏応力、 \langle 伸び $\rangle =$ 塑性変形

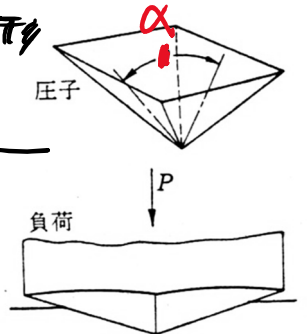
↑
引張強さ、耐力... 「材料の強度」

・圧子: ダイヤモンド正四角錐圧子

・荷重範囲: 1 kgf ~ 50 kgf 程度

・定義: 基本的にブリネルと同一

相似形



対面角 136° W [kgf], d [mm]

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

\langle 伸び \rangle 対角線長

実際は2箇所を測定

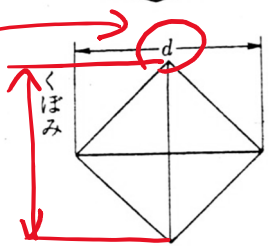


図 7.4 ビッカース硬さ

注: SI 単位に基づく定義式

$$HV = 0.1891 \frac{W}{d^2} \quad W \text{ [N]}, d \text{ [mm]}$$

→ 得られる HV は元の kgf/mm^2 のものと同一
0.1891

●ビッカース硬さの特徴

① \langle 伸び \rangle 形状は荷重によらず常に相似となる。
→ 同一材料であれば荷重によらず HV は一定

② ダイヤモンドの使用

→ 試料の適用範囲の拡大

●ビッカース硬さ試験実施上の注意点

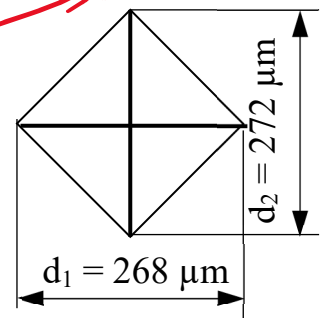
- ①試料表面: ブリネル石更土よりくぼみが小さい。
→ 鏡面仕上げ、平行度も高いレベル
- ②試料寸法: ブリネルと同様
- ③試験荷重: 特に制約はないが、できる限り大きい荷重の方がくぼみ寸法測定精度としては良い。

・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。

$$d_{平均} = \frac{d_1 + d_2}{2}$$

● HB, HV の値
→ 整数として表示可。



$$\underline{HV = 254}$$

$$d_{平均} = \frac{268 + 272}{2} = 270 \mu m = \underline{0.270 mm}$$

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

$$\therefore HV = 1.854 \frac{10.0}{0.270^2} = 254.32 \dots = \underline{254}$$

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

- ・小テストの導出をもう少し勉強しておけばよかった, 次回の穴埋めで稼いでおきたい, 毎回の小テストで問題が変わっていて難しい, 限界き裂長さを a と勘違いしてしまった, 時間がギリギリだった, かなり手応え良かった, ちょうど良い難易度だった, 見当違いの解答になってしまった, 単位を直すときに間違えそうになった, 今回は小テスト解けた, 電卓を忘れて計算が不安, 公式は暗記していたが文字の意味まで理解していなかった, MPa の単位間違えた, 式に代入する値を間違えた, 計算に手間取った, a で求めるのか $2a$ で求めるのか迷った:18 ← 今回の小テストは 5.9 点, 満点 8 名でした. 20 名前後の人が, テスト時間内でも注意しましたが限界き裂寸法を「 a 」として導出・計算していて減点を食らっています. 前回授業でしっかり「 $2a$ 」と念を押したにもかかわらずこういう結果になった原因として, 推測ですがこの間違いをした人たちは過去問しか勉強していなかったんでしょうね. 「毎回の小テストで問題が変わっていて難しい」という間抜けなコメントもありましたが, 問題は毎年変えていますので当たり前です. 授業の最後に説明する「大事なポイント」について, 自力でちゃんと勉強しない限り点数はずっと取れませんよ.
- ・昨年学習した際には硬さ試験を行う前だったためイメージできていなかったが今年は理解度が高かった, ビッカース硬さ試験についての基本的な理論と注意点を理解できた, 材料的な視点での意味や分類を知ることができた, 新しい式が出るとワクワクする, 硬さを調べる方法にも様々な規定があって面白い, ブリネルとビッカースの荷重範囲が大きく異なっていて驚いた, 実験で調べたことがあったので理解しやすかった, 事前知識が増えて良かった:17
- ・GW にそこまで復習していなかったの忘れてしまっているところがあった, 復習に力を入れたい, 最近復習があんまりできていない, 硬さ試験の内容を復習する, 引き続き勉強頑張る, もう一度気持ちを引き締める, 単位換算が苦手なので練習する, 単位に気をつける:9
- ・用語についての理解が足りない, 最初の方の授業の内容から抜けている, ただ式を覚えるのではなく定義や単位もセットで理解していないと使いこなせない:3
- ・期末に向けて勉強する, 全体の約半分終了したことを感じた, レポートもまた始まり忙しくなるが頑張る:3
←これから 1 ターム後半ですので, 授業全体の復習も始められたら始めた方がいいですね.
- ・GW が明けて近頃の気温の上昇が感じられた, GW 明け初めての講義で疲れが残っていたがぐだらなように頑張る:2 ← GW 明けはお互いツライですが, 今日終わればまた週末休めますので!
- ・ビッカース硬さ試験のダイヤモンド先端は 1 回試験するごとにつぶれそう ← ダイヤモンドは硬いので, 1 回やそこらじゃさすがにつぶれませんが, 多数の試験を実施すると実際圧子先端は初期形状から変化していきます(摩耗や微細な損傷により).

●質問

- ・HV の定義式の定数部分が変化するのは? ← kgf 単位の荷重 W を N 単位の値に換算(例えば 5kgf であれば 49N)するとなると, HV の値が変化しないように係数 1.854 を $1/9.8$ 倍して 0.1891 にした, という事です. [注! 板書で「0.1819」と書いたのは「0.1891」の誤りでした, 訂正しておきました]
- ・ダイヤモンドをビッカースで試験することは可能なのか? ← 無理矢理やることは可能ですが, 圧子に少なからず損傷(欠け等)が発生する可能性が高いと思います.
- ・定義式の 1.854 等は有効数字として考えた方がいいのか? ← はい, 本来は個々の圧子で測定された対面角から求めている数値ですので.
- ・ビッカース硬さの公式の単位がわからなかった, HB の式はどうして単位がつかないのか? 本当は次元があるのに無次元とすることに驚いた ← 「無次元とする」わけではなく, 単に単位を付さないだけです. 単位

を付さない理由について、ネットの AI では「硬さが絶対的な物理量(長さや重さ)ではなく、特定の試験方法に基づいて定義された「相対的な尺度」だから」という説明が出ますが、それだけではないと私は思っています。ビッカース(ブリネル)硬さも引張試験の応力も、絶対的な物理量(長さや重さ)を組み合わせで表される量としては同じですが、応力は単位付きで表記します。硬さに単位をつけない理由として、私としては「ビッカース(ブリネル)硬さは物理的な意味合いが整合的ではない」ことにあるのでは、と思っています。確かに形式的な次元としては「単位面積あたりの荷重」ですが、荷重は試料表面に垂直に負荷されているにもかかわらず、対象となる面は荷重と垂直ではない「くぼみ表面」であり、よって荷重と面積の対応関係に物理的な整合性はない状態です。よって「単位面積あたりの荷重」としての単位を与えるのは適切でないと判断します。

・Sの導出についてわからなかった←ブリネルはちょっと面倒なので(汗)、ビッカースだけ以下に示します。

この三角形について、

$$\sin \frac{\alpha}{2} = \frac{x}{h}$$

$$h = \frac{x}{\sin \frac{\alpha}{2}}$$

• xとdの関係: $2x = \frac{d}{\sqrt{2}}$ $\rightarrow \therefore h = \frac{d}{2\sqrt{2} \sin \frac{\alpha}{2}}$

• この三角形 (= $\frac{S}{4}$) について

$$\frac{S}{4} = \frac{d}{\sqrt{2}} \cdot h \cdot \frac{1}{2}$$

$$S = \frac{2d \cdot h}{\sqrt{2}} = \frac{2d}{\sqrt{2}} \cdot \frac{d}{2\sqrt{2} \sin \frac{\alpha}{2}} = \frac{d^2}{2 \sin \frac{\alpha}{2}}$$

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.

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

$$\therefore 2a \geq \frac{4\gamma E}{\pi \sigma^2} \quad \text{注: 「} a \geq \dots \text{」と導出した場合は減点.}$$

Q.2 ぜい性体である溶融石英無限平板 ($\gamma = 4.30 \text{ J/m}^2$, $E = 70.0 \text{ GPa}$, 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]

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

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

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

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

\therefore き裂長さ $3.13 \times 10^{-4} \text{ m} = 0.313 \text{ mm}$ 以上のき裂でぜい性破壊する.

注: 「 $a \geq \dots$ 」で算出した場合は減点.