

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

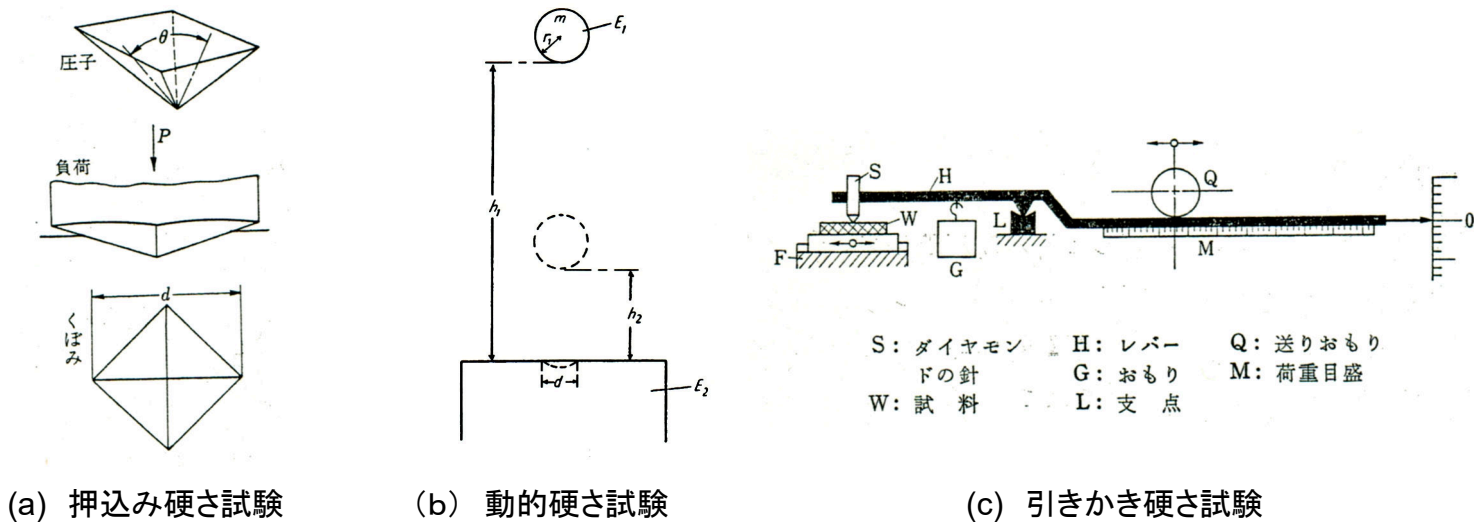


- 今回： 硬さ試験における
- ・ 「硬さ」とは？
 - ・ ブリネル硬さ試験
 - ・ ビッカース硬さ試験

7. 硬さ試験 1

7.1 「硬さ」とは？: 他の物体の接角出により変形が与えられたときにその材料が示す抵抗の度合い、

●硬さ試験の種類



ブリネル、ビッカース
ロックウェル

ショア

マルチス

●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、所要時間も短い。
- ② 通常、特別な試験片を準備する必要がない。
- ③ 非破壊試験と見なせる。

7.2 ブリネル硬さ

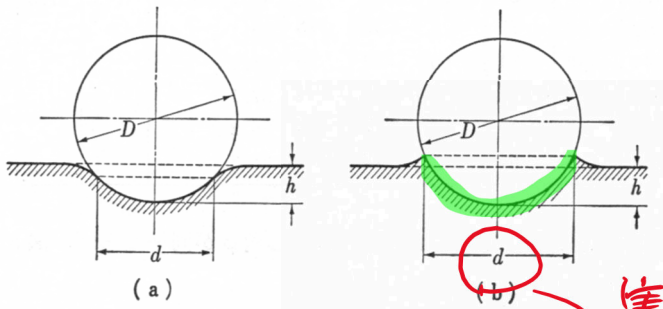


図 7.2 ブリネル硬さ

- ・圧子: 鋼球圧子, $D=1 \sim 10 \text{ mm}$
- ・荷重範囲: $500 \sim 3000 \text{ kgf}$
- ・定義: 圧子を試料表面に押し込んだ荷重 W を, 形成したくぼみの表面積 S で除した値.

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

ブリネル硬さ

注: HB の次元は kgf/mm^2 だが
硬さ(値)には単位は付けない.

HB 362

●ブリネル硬さ試験実施上の注意点

- ①試料表面: 荷重方向に対して垂直かつ平滑(表面仕上げ)
- ②試料寸法: 試料の厚さはくぼみ深さの10倍以上
“ の幅は “ 直径の数倍以上
- ③試料と圧子の硬さ: 試料硬さが HB 450 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)球圧子により
回還可能, しかし鋼球圧子との
相違が生じる.

④圧子直径 D と荷重 W の選定:

くぼみ直径 d が $0.2 \sim 0.5D$ となるような
荷重 W を選択する.

異なる数段階の荷重により試験を可する場合:

“ W/D^2 “ を一定に保つ必要がある.

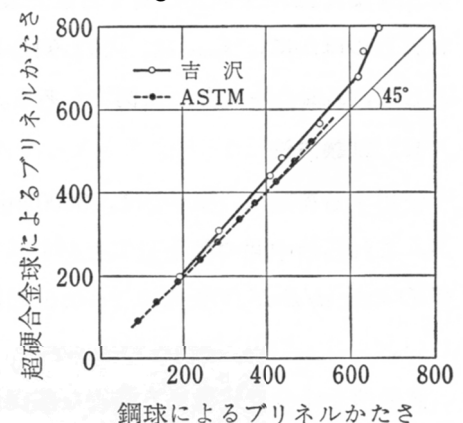


図 7.3 圧子材質がブリネル硬さに及ぼす影響

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?

くぼみは塑性変形である... 材料の強度と関係

・圧子: ダイヤモンド正四角錐圧子 ($\alpha = 136^\circ$)
対面角

・荷重範囲: 1kgf ~ 50kgf 程度

・定義: ブリネルと同じ ($\frac{W}{S}$)

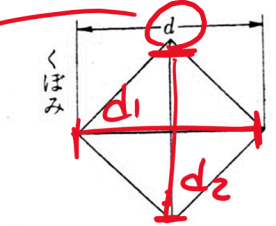
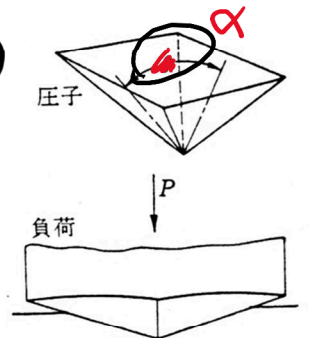


図 7.4 ビッカース硬さ

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

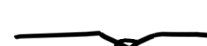
くぼみ
表面積

くぼみ
対角線長
2箇所での測定の平均

注:
→



相似
じゃない



相似
になる

●ビッカース硬さの特徴

① くぼみ 形状は荷重によらず相似となる。
→ 同一試料ならば荷重によらずHV一定となる。

② ダイヤモンド圧子の使用
→ 試料の適用範囲拡大

●ビッカース硬さ試験実施上の注意点

- ①試料表面: フリネル石よりくぼみが小さい
→ 表面仕上げにより高いレベルが求められる
(金鏡面仕上げ)
- ②試料寸法: フリネルと同様
- ③試験荷重: なるべく小さい方が良い

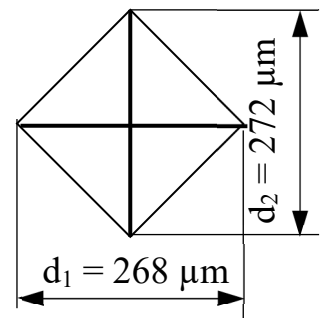
・例題: 炭素鋼試験片に対して、押込み荷重 $W = 10.0 \text{ kgf}$ にてビッカース硬さ試験を行ったと

ころ、下図のようなくぼみが得られた。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。

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

$$HV = 1.854 \frac{10.0}{0.270^2} = 259.32 \dots$$

$= 259$
 硬さ値は1の位から表記する。
 (小数点以下は不要)



7.4 第7回講義に関する意見・感想・質問のまとめ

●意見

- ・ビッカース硬さの計算が理解できた、硬さを調べる上でいろいろな試験があることを知った、問題なく理解できた、押込み硬さ試験について学んだ、ビッカースとブリネルの違いがわかった、:12
- ・復習する、様々な図があったので対応させて確認する、復習に力を入れる、難しい言葉が多かったので復習して理解できるようにする、用語を確認する、硬さの定義式が複雑なのできちんと覚える、試験名を覚えるまで混乱しそう、ビッカース硬さ試験を近々実験でやるので復習予習をする:11
- ・今日の小テストの自信がない、小テストの問題を読み間違えた、小テストがよくできた、しっかりと復習していたのでスラスラ解けた、復習した甲斐があって嬉しかった、授業と違う形式の問題が出て止まってしまった、例題と求めるものが変わっていて少し焦ったができたと思う、毎回 σ を求めるときに 3.14 を忘れそうになる:9←今回の小テストは平均 7.8 点、満点 18 名と前回よりかなり向上しました。ただ、細かい減点を受ける人が結構いてもったいなかったです(解答を参照)。
- ・動画や図のおかげで硬さ試験のイメージがわかりやすかった、対角線長さを取るのは頂点の方が分かりやすいからという説明で納得した、試験にもいろいろな種類があって面白い、分かりやすい講義だった、いつもより集中して講義を聞いた、引張試験よりも硬さ試験の方が捉えやすかった:6
- ・ビッカース硬さとブリネル硬さについてまだ理解しきれていないところがある、硬さ試験の特徴を押さえる、種類がありすぎて混乱する、くぼみの表面積を求める式の導出が難しかった:4
- ・HV を求めるときに kgf のまま計算することに注意する、HB には単位をつけないように注意する:3
- ・前回の内容はすんなり頭に入ったので理解が早かった←良かったです。
- ・今日は途中退席してしまったので家でしっかりフォローしておく
- ・HP がうまく見れないのをなんとかしてほしい←他の人からはそういうことは言われたことはないのですが…と書いてもここも見れないのしょうから、直接メールで確認してみます。
- ・組織学の資料を読んで復習していたら前よりも内容が入ってくるようになった←組織学の知識は重要です。
- ・バイト先の塾の名前が出てきてびっくりした←来週の内容の試験方式ですね。
- ・材料科学実験でロックウェル硬さ試験を行ったがビッカース硬さ試験との違いがわからなかった←ロックウェル硬さ試験ではくぼみを観察して寸法を測りましたか？

●質問

- ・ダイヤモンドはどのように成形しているのか？←ダイヤモンド同士を擦り合わせて成形します。
- ・「モース硬度」は聞いたことあるが今回の内容とどのような違いがあるのか？←モース硬度は鉱物の相対的な硬さを評価する指標ですね。両硬さに関連性はなく、換算等はできません。
- ・ビッカース試験においてき裂が生じたら荷重を調整するのか？←試験の意図によります。通常の硬さを求める目的であれば、その通り荷重を下げてき裂が出ないようにしますが、意図的にき裂を発生させるためにビッカース硬さ試験を行う場合もあります(その場合は、硬さではなく材料のじん性を評価します)。
- ・ビッカースの方が荷重範囲が小さいのは圧子形状に起因するのか？←その通りです。ビッカース圧子の方が低荷重でも明瞭なくぼみが形成できますので、低い荷重域になります。
- ・そもそもどうして相似が重要なのか？←HB・HV と「荷重とくぼみ表面積の比」が定義ですので、荷重の増加に対してリニアにくぼみ表面積が増加すれば硬さ値は一定となります。「荷重が異なってもくぼみ形状が相似形」であれば、その条件を満たすことは容易になりますが、「荷重が異なるくぼみ形状は相似形にはならない」場合は、リニアな関係となるのは難しいです。
- ・HV も HB と同様に単位を必要としないのか？←その通りです。

- ・押し込み硬さ試験では硬さ値が大きいけど他の硬さ試験では硬さ値が小さい材料は存在するのか？←いずれの硬さ試験も、表面の塑性変形のしにくさを反映するので多分ないと思います。
- ・小テスト α が小さくなると ρ/d は大きくなるので ρ は大きくなるかといけなのでは？(2名)←ご指摘の通りです、問題文が誤っていました。ですので、最終的な答えの大小関係(<や>, 言葉による記述)については採点対象から外しました。
- ・測定が重なるにつれダイヤモンド圧子が減ったらどうするのか？←いい質問です。実際、ダイヤモンド圧子でも使用に伴い少しずつですが摩耗したり、使用法の不備等で欠けたりして圧子形状が初期から変化することがあります。当然、試験結果に影響が出ますので、顕著な場合は圧子を交換しなければなりません。
- ・ゴムなど弾性変形をする材料に対してできる硬さ試験はあるのか？←調べたところ、「デュロメータ(ゴム硬度計)」というものがあるそうです。もちろんゴムではなくぼみ(塑性変形)は付きませんので、デュロメータでは圧子を押し込んで力の釣り合いが取れた時の圧子の押し込み深さから硬さを定義します。
- ・硬さ値の小数第一位は四捨五入か切り捨てか？←四捨五入でいいです。
- ・HV に単位がないのはなぜなのか？←硬さ試験は様々あり、それぞれ物理的意味が違います。今日話したブリネル・ビッカースは一応「単位面積あたりの荷重」という物理的意味のある定義になっていますが、次回説明するロックウェルは単に「押し込み深さの差を数値的に処理したもの」であり、物理的な意味はありません。このように、単位の由来となる物理的意味を統一的に扱えないため、硬さには単位はつけないことが通例となっています。
- ・N にしないで kgf で計算する意義は？←SI 単位が普及する前から使用されており、定着しているそれぞれの硬さ値の数値感を変更したくないためでしょう。kgf を N にただ変更すれば、HV の値が約 9.8 倍になってしまう訳ですから。ですので、現在の硬さ試験装置では荷重の表記として N 単位で表記されているものもありますが、計算では $N \div 9.8$ の処理をして kgf 単位と同一の HV が出るようになっています。
- ・ダイヤモンド圧子を用いれば試料を幅広く使えるのならば鋼球や超硬合金を用いる理由がないのではないかな？←
- ・ブリネル硬さ試験の圧子は超硬合金に揃えればいいのではないかな？←
上記 2 つは似たような質問ですが、単に時系列の問題です。最初鋼球で開発されたもので、そこから超硬合金球→ダイヤモンド四角錐と改善されて来たわけですから、当然現時点で鋼球の存在価値は低いですがこれまで得られているデータを全て放棄する必要はない、ということです。それに、硬さ値がそれほど高くない試料であれば鋼球でも何も問題はありせん。

7.5 第6回小テスト解答

Q.1 $D=11.0$ mm, $d=10.0$ mm で引張負荷 $W=7854$ N を受ける段付き丸棒において, 最大応力 $\sigma_{\max} < 160.0$ MPa とするためには, 切欠き半径 ρ をどの程度以下とする(誤りでした) 以上とする必要があるか求めよ. [10 点, 部分点あり]

A.1 $D/d = 11.0/10.0 = 1.10$ $\sigma_n = 7854 / (\pi \cdot 10.0^2/4) = 100$ MPa

$\alpha = \sigma_{\max} / \sigma_n = 160.0/100. = 1.60$

よって図より $D/d = 1.10$ の曲線と $\alpha = 1.60$ の交点を読み取る... $\rho/d \doteq 0.175$

ρ/d の値が 0.175 以上であれば α の値が 1.60 以下となるため, $\sigma_{\max}$ も 160.0 MPa 以下となる.

$\therefore \rho/d > 0.175$

$\rho > 0.175 \times 10.0 = 1.75$

ρ を 1.75 mm 以上にすれば $\sigma_{\max}$ は 160.0 MPa 以下となる.

注: 以下のような減点が多数あり

- $D/d = 11.0/10.0 = 1.1$ → 桁数不適切
- $\sigma_n = 100$ → 単位なし
- 最後の答えが「 $\rho=1.75$ 」 → 計算しただけ

