

材料評価学 第8回

- 前回： 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



- 今回： 硬さ試験における
- ・ロックウェル硬さ試験
 - ・硬さ換算表
 - ・硬さ値と機械的特性の関係

8. 硬さ試験 2

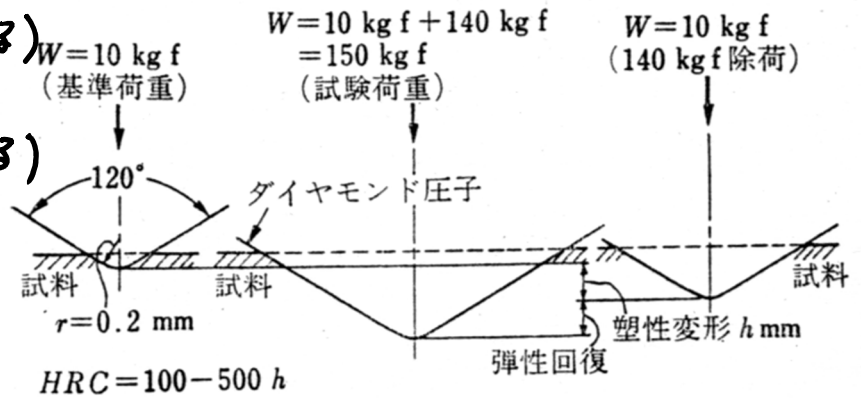
8.1 ロックウェル硬さ

ロックウェル硬さ試験の動画 (YouTube より, 2.5 分程度)

・圧子: ダイヤモンド 120° 錐圧子
(先端は丸みがある)

もしくは 鋼球圧子
(スケールによって使い分ける)

・荷重範囲: スケールによって決まる。



・定義: 基準荷重 → 試験荷重 図 8.1 ロックウェル硬さ (C スケール)

→ 基準荷重、と荷重を変化させた押し込みにおいて、前後2回の基準荷重時のくぼみ深さの差から硬さ値を決定する。

表 8.1 ロックウェル硬さの各種スケール

HRC

| スケール | 圧子 | 基準荷重 [kg] | 試験荷重 [kg] | かたさ H_R の求め方 | 適用例 |
|------|--------------------------------------|-----------|-----------|----------------|---|
| A | 頂角 120° 先端半径 0.2 mm ダイヤモンド・コーン | 10 | 60 | 100-500 h | 超硬合金 |
| D | | | 100 | | Cスケールの場合よりやや軽い荷重を希望する場合 (たとえばはだ焼を施した材料) |
| C | | | 150 | | B100 以上のかたい材料で C70 以下のもの |
| F | 直径 1/16 in 鋼球 | 10 | 60 | 130-500 h | 非常に柔らかい材料 (たとえば軸受メタル) |
| B | | | 100 | | 焼なましした状態の鋼で B100~B0 のかたさの材料 |
| G | | | 150 | | Bスケールよりかたい材料 |
| H | 直径 1/8 in 鋼球 | 10 | 60 | 130-500 h | 非常に柔らかい材料 (たとえば軸受メタル) |
| E | | | 100 | | |
| K | | | 150 | | |

~中略~

●ロックウェル硬さの特徴

- ① 試料表面状態の影響を受けにくい。
- ② 試験時間が極めて短い。
- ③ くぼみの観察が不要 → 個人誤差の入る余地がない
- ④ 多くのスケールがあり、対象材料により適切なスケールを使い分ける必要がある。

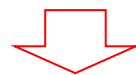
8.3 硬さ換算表

・問い:ビッカース硬さとロックウェル硬さは、物理的意味において違いがあるか？

違う。ビッカース硬さ: 単位面積当たりの荷重
ロックウェル硬さ: 弾性変形の深さと数値処理したもの。

∴

・ 各硬さ試験において、物理的意味や定義式が異なるため一律で比較できない



- ・ 異なる硬さ試験方式による同一試験片に対する試験結果を横に並べる
- ・ 異なる硬さの試験片に対する同一試験方式の試験結果を縦に並べる

↓

整理したのが「硬さ換算表」

表 8.2 硬さ換算表(鉄鋼材料, 一部)

| ビッカース硬さ | ブリネル硬さ 10mm球・ 荷重3000kgf | | ロックウェル硬さ(2) | | | | ロックウェルスーパーフィシャル硬さ ダイヤモンド円錐圧子 | | | シヨア硬さ | 引張強さ (近似値) MPa (1) | ビッカース硬さ |
|---------|-------------------------------|--------------|------------------------------------|--|-------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------|---------------------------|---------------------------|-------|-----------------------------|---------|
| | 標準球 | タングステンカーバイド球 | Aスケール 荷重60kgf ダイヤモンド円錐 圧子 | Bスケール 荷重100kgf 径1.6mm (1/16in)球 | Cスケール 荷重150kgf ダイヤモンド円錐 圧子 | Dスケール 荷重100kgf ダイヤモンド円錐 圧子 | 15 - N スケール 荷重15kgf | 30 - N スケール 荷重30kgf | 45 - N スケール 荷重45kgf | | | |
| 940 | - | - | 85.6 | - | 68.0 | 76.9 | 93.2 | 84.4 | 75.4 | 97 | - | 940 |
| 920 | - | - | 85.3 | - | 67.5 | 76.5 | 93.0 | 84.0 | 74.8 | 96 | - | 920 |
| 900 | - | - | 85.0 | - | 67.0 | 76.1 | 92.9 | 83.6 | 74.2 | 95 | - | 900 |
| 880 | - | (767) | 84.7 | - | 66.4 | 75.7 | 92.7 | 83.1 | 73.6 | 93 | - | 880 |
| 860 | - | (757) | 84.4 | - | 65.9 | 75.3 | 92.5 | 82.7 | 73.1 | 92 | - | 860 |
| ~中略~ | | | | | | | | | | | | |
| 520 | (480) | 488 | 76.1 | - | 50.5 | 63.5 | 85.7 | 69.0 | 55.6 | 67 | 1795 | 520 |
| 510 | (473) | 479 | 75.7 | - | 49.8 | 62.9 | 85.4 | 68.3 | 54.7 | - | 1750 | 510 |
| 500 | (465) | 471 | 75.3 | - | 49.1 | 62.2 | 85.0 | 67.7 | 53.9 | 66 | 1705 | 500 |
| 490 | (456) | 460 | 74.9 | - | 48.4 | 61.6 | 84.7 | 67.1 | 53.1 | - | 1660 | 490 |
| 480 | 448 | 452 | 74.5 | - | 47.7 | 61.3 | 84.3 | 66.4 | 52.2 | 64 | 1620 | 480 |
| 470 | 441 | 442 | 74.1 | - | 46.9 | 60.7 | 83.9 | 65.7 | 51.3 | - | 1570 | 470 |
| 460 | 433 | 433 | 73.6 | - | 46.1 | 60.1 | 83.6 | 64.9 | 50.4 | 62 | 1530 | 460 |
| 450 | 425 | 425 | 73.3 | - | 45.3 | 59.4 | 83.2 | 64.3 | 49.4 | - | 1495 | 450 |
| 440 | 415 | 415 | 72.8 | - | 44.5 | 58.8 | 82.8 | 63.5 | 48.4 | 59 | 1460 | 440 |
| 430 | 405 | 405 | 72.3 | - | 43.6 | 58.2 | 82.3 | 62.7 | 47.4 | - | 1410 | 430 |
| 420 | 397 | 397 | 71.8 | - | 42.7 | 57.5 | 81.8 | 61.9 | 46.4 | 57 | 1370 | 420 |
| 410 | 388 | 388 | 71.4 | - | 41.8 | 56.8 | 81.4 | 61.1 | 45.3 | - | 1330 | 410 |
| 400 | 379 | 379 | 70.8 | - | 40.8 | 56.0 | 81.0 | 60.2 | 44.1 | 55 | 1290 | 400 |
| 390 | 369 | 369 | 70.3 | - | 39.8 | 55.2 | 80.3 | 59.3 | 42.9 | - | 1240 | 390 |
| 380 | 360 | 360 | 69.8 | (110.0) | 38.8 | 54.4 | 79.8 | 58.4 | 41.7 | 52 | 1205 | 380 |
| 370 | 350 | 350 | 69.2 | - | 37.7 | 53.6 | 79.2 | 57.4 | 40.4 | - | 1170 | 370 |
| 360 | 341 | 341 | 68.7 | (109.0) | 36.6 | 52.8 | 78.6 | 56.4 | 39.1 | 50 | 1130 | 360 |

~略~

8.4 硬さ試験の実際的应用

・硬さ値: その自身の把握が目的
ではないことが多い

●他の特性値の簡単な目安として用いられる。

●硬さ値と関連付けられる他の機械的特性との関連: 降伏強度、

・ 降伏強度、引張強度、耐力

・ 疲労強度、耐摩耗性、切削性など

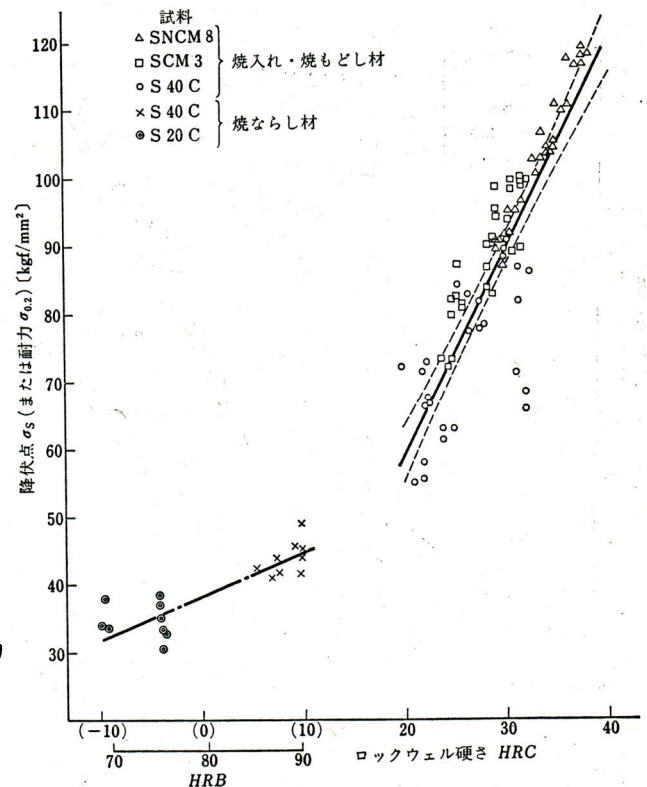


図 8.3 各種鋼材における HRC と σ_s の関

●ビッカース硬さ HV と引張強さ σ_B の関係 :

$$HV \doteq 3 \sigma_B \text{ [kgf/mm}^2\text{]}$$

$$1 \text{ kgf/mm}^2 = 9.80 \dots \text{ MPa}$$

・SI 単位系への換算:

$$HV \doteq 3 \sigma_B \text{ [kgf/mm}^2\text{]}$$

$$\sigma_B \doteq \frac{1}{3} HV \text{ [..]}$$

$$\sigma_B \doteq 9.8 \times \frac{1}{3} HV \text{ [MPa]}$$

$$\sigma_B \doteq 3.3 HV \text{ [MPa]}$$

・例題: 炭素鋼試験片に対して, ロックウェル C スケールおよびビッカース硬さ試験をそれぞれ

実施したところ, **HRC = 25.1**, **HV = 266** の値が得られた. これらの結果を下記の硬さ換算表を用いてそれぞれ引張強さ σ_B に換算せよ.

換算表より

σ_B と HV の関係より

| | | |
|------|------------|---|
| HRC | σ_B | |
| 25.6 | 855 | |
| 25.1 | ? | $\rightarrow 840 + \frac{0.3}{0.8} \times 15$ $= 845.625$ $= \underline{846 \text{ MPa}}$ |
| 24.8 | 840 | |

$$\sigma_B \doteq 3.3 HV \text{ [MPa]}$$

$$= 3.3 \times 266$$

$$= 877.8$$

$$= \underline{878 \text{ MPa}}$$

| ビッカース硬さ | ブリネル硬さ 10mm球・荷重 3000kgf | | | | ロックウェル硬さ (2) | | | | ロックウェルスーパーフィシャル硬さ ダイヤモンド円錐圧子 | | | 引張強さ (近似値) MPa | ビッカース硬さ |
|---------|----------------------------|--------------|------------------------------------|---|-------------------------------------|---|--------|------|---------------------------------|------|--------|----------------------|---------|
| | 標準球 | タングステンカーバイド球 | Aスケール 荷重60kgf ダイヤモンド円錐 圧子 | Bスケール 荷重100kgf 径1.6mm (1/16in) 球 | Cスケール 荷重150kgf ダイヤモンド円錐 圧子 | Dスケール 荷重100kgf 径1.6mm (1/16in) 球 | 15 - N | | 30 - N | | 45 - N | | |
| | | | | | | | スケール | スケール | スケール | スケール | スケール | | |
| 320 | 303 | 303 | 66.4 | (107.0) | 32.2 | 49.4 | 76.2 | 52.3 | 33.9 | 45 | 1005 | 320 | |
| 310 | 294 | 294 | 65.8 | — | 31.0 | 48.4 | 75.6 | 51.3 | 32.5 | — | 980 | 310 | |
| 300 | 284 | 284 | 65.2 | (105.5) | 29.8 | 47.5 | 74.9 | 50.2 | 31.1 | 42 | 950 | 300 | |
| 295 | 280 | 280 | 64.8 | — | 29.2 | 47.1 | 74.6 | 49.7 | 30.4 | — | 935 | 295 | |
| 290 | 275 | 275 | 64.5 | (104.5) | 28.5 | 46.5 | 74.2 | 49.0 | 29.5 | 41 | 915 | 290 | |
| 285 | 270 | 270 | 64.2 | — | 27.8 | 46.0 | 73.8 | 48.4 | 28.7 | — | 905 | 285 | |
| 280 | 265 | 265 | 63.8 | (103.5) | 27.1 | 45.3 | 73.4 | 47.8 | 27.9 | 40 | 890 | 280 | |
| 275 | 261 | 261 | 63.5 | — | 26.4 | 44.9 | 73.0 | 47.2 | 27.1 | — | 875 | 275 | |
| 270 | 256 | 256 | 63.1 | (102.0) | 25.6 | 44.3 | 72.6 | 46.4 | 26.2 | 38 | 855 | 270 | |
| 265 | 252 | 252 | 62.7 | — | 24.8 | 43.7 | 72.1 | 45.7 | 25.2 | — | 840 | 265 | |

8.5 計装化押込み試験

- 「ナノ・インデンテーション」とは？：
ごく微小な領域に対する、ごく微小な荷重による押込み（石更）試験、およびその結果からの材料特性評価法のこと。

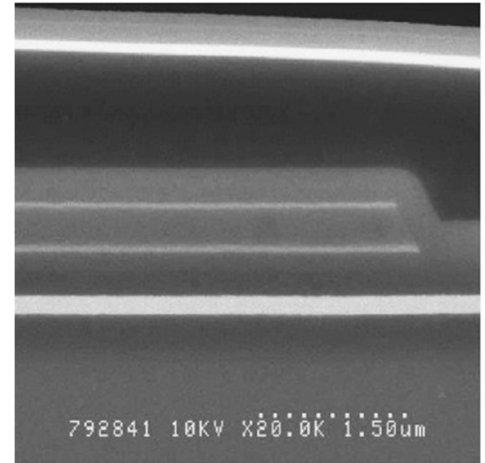
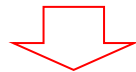


図 9.1 有機 EL 回路の断面 SEM 写真

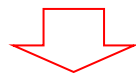
- 機能性デバイス／材料の開発とその材料特性評価の必要性

例①: nm ~ μm レベルの機能性生薄膜

例②: 微粒子 (nm レベル) を分散強化させた複合材料

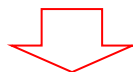


- ・ 一般的な材料特性試験（引張試験等）では評価不可能
- ・ 従来の石更試験（ビッカース、ロックウェル等）でも試験方法は困難



①

②



●

8.6 第8回講義に関する意見・感想・質問のまとめ

●意見・感想

- ・ビッカースとロックウェルの違いについて理解できた, ロックウェル硬さ試験について分かった, 今回で3種類の方法を整理できた, 硬さ試験の理解が深まった, 様々な硬さ試験がある意味がわかった, 実験でやったので理解しやすかった:17
- ・HV を求めるときの d の場所を忘れてしまった, 式の意味を理解していたのでスムーズに解けた, 難易度はちょうど良かった, 解けた気がした, 簡単だった, HV の単位を間違えて覚えていた, 計算はできたが穴埋めができなかった, 休みボケしてできないかと思ったが前日の勉強のおかげですぐ解けた, 「除す」の意味を理解していなかったり計算ミスをしていた, 今回はしっかり復習できていた, 語句と計算の両方の問題があるので良い, 復習するところを間違えて今日の範囲を全くできていなかった, 小テストでわからないところがあった:16←今回の小テストは平均 6.8 点, 満点 14 名でした. 計算問題の典型的な誤答として $\cdot d$ を測る場所の誤り(辺ではなく対角線の長さを取る), $\cdot d$ の単位(μm ではなく mm 単位で計算する), $\cdot HV$ の数値(小数点以下は不要), $\cdot HV$ の単位(単位は不要), 等がありました.
- ・よく復習する, 硬さについての学習をする, それぞれの硬さ試験の特徴の違いをしっかりと理解する, 用語をしっかりと復習する, ロックウェルの復習をする:10
- ・前回の内容より複雑だった, これだけ試験方式があるので材料に合わせるのが大変そう, ナノレベルの押し込みの評価がどんなものか知りたい, それ自体の値の測定が目的でない場合が多いということが興味深い:4
- ・計算問題をうまく解けない, 単位に注意する:3
- ・換算表の使い方を例題を通して理解できた, 異なる硬さ試験でも換算ができることを学べた:2
- ・GW 明けだったが気を抜かずに講義に臨めた←良かったです!
- ・そろそろテストのことを考えて勉強する←頑張ってください.
- ・後半の進行速度が少し早かった,
- ・硬さ換算表で引張強さが求められるので実験レポートに活かしたい
- ・スライドの資料が多い時はプリントの記入したところが写ってる時間が極端に短いのもう少し気を使ってほしい←今日みたいに表や図が多いとどうしてもスクロールして進めざるを得なくなりますが, 今日は(というか最近ずっと)それ以前にペンが不調で思い通りに書いたりページを送ったりしづらかった, という事情がありました. それがなければ, もう少し全体の進行速度のバランスをとりながら授業実施できたのですが, 「気を使ってない」ということですので, 今後は画面表示の倍率を下げることで, スクロールのスピードを緩和し画面に写っている時間が長くなるようにします. 字が小さくなって部屋の後方からでは見にくくなりますので, 全体的にもっと前に座って受講してください.
- ・間違ったら字を消してほしい←これも, 消しゴムに切り替えるとペンが反応しなくなって書けなくなる症状が出ていたので, なるべく消しゴムに切り替えずに進めようとした結果でした. まあ皆さんには関係ない事情ですね.

●質問

- ・ kgf による変換がたびたび行われるが kgf を使うメリットは? ←メリットは特にはないですね, ただ慣例的に kgf を使うシチュエーションが残っているから使わざるを得ない, というところです.
- ・ロックウェルの硬さの求め方はどのようにして決まっているのか? 実験によってその式にすると値がいい感じになるからそう決まった, という認識でいいのか?:2←全くその通りです. 個人的には, それでもこれほど多くのスケールが必要だったのかな(せいぜい 4-5 種類で十分では?)という点で疑問が残ります.

- ・ロックウェル硬さの各種スケールの見方が理解しきれなかった←表 8.1 のことでしょうか？左端の「スケール記号」から順々に右の列を見ていくことで、それぞれのスケールの圧子条件・荷重条件・定義式が記載されている、というものです。
- ・ロックウェル硬さ試験について弾性変形→塑性変形と進行しそうだがそうではないのか？←もちろんその通りで、試験片に負荷をかけていく過程では材料は最初弾性変形を生じ、そこから塑性変形に移行していきます。一方、試験片から負荷を抜いていく(除荷といいます)過程においては、塑性変形は元には戻らない永久変形ですので変化しないのに対して、負荷によって生じた弾性変形分は元に戻ろうとしますので、除荷過程においては弾性変形の回復のみが生じます。

8.7 第7回小テスト解答

- Q.1 ビッカース硬さについて述べた次の文章中の、空欄に当てはまる語句を解答欄に記入せよ。
[各1点, 計4点]

ビッカース硬さはブリネル硬さと同一の定義である。すなわち、圧子を試料表面に押し込む荷重を、それによって形成されるくぼみの [(a)] で除することで定義される。式として表すと次の通りである。

$$HV = 1.854 \frac{W}{d^2}$$

ビッカース硬さ試験の特徴として、圧子形状が [(b)] であるためくぼみ形状は荷重によらず常に [(c)] となること、また圧子材質が [(d)] であるため試験可能な材質範囲が幅広いこと、等が挙げられる。

A.1

- (a)[表面積] (b)[正四角錐(ピラミッド形)]
(c)[相似形] (d)[ダイヤモンド]

- Q.2 炭素鋼試験片において、 $W=10.0$ kgfにて試験を実施したところ、下図のようなくぼみが観察された。これよりHVを求めよ。[6点]

- A.2 「圧痕の対角線の平均値」を算出する： $\frac{272+268}{2} = 270. \mu\text{m} = 0.270 \text{ mm}$

$$\therefore HV = 1.854 \frac{10.0}{0.270^2} = 254.32... = 254 [\text{単位なし}]$$

