

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

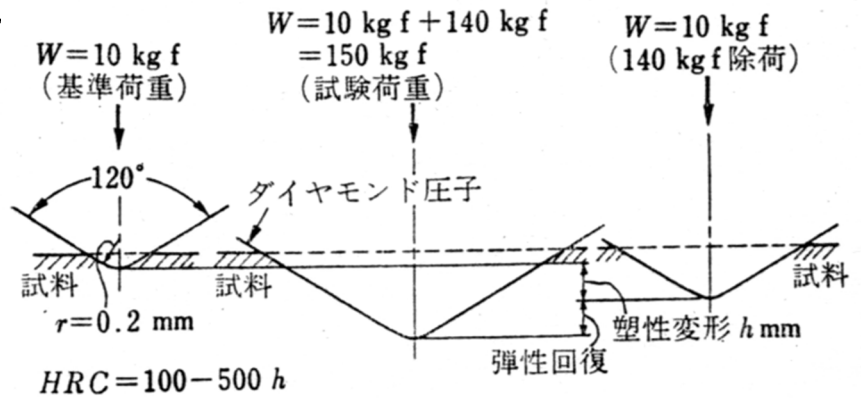
8.1 ロックウェル硬さ

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 円錐 ← 先端に丸みをもつ円錐
 圧子, もしくは鋼球
 圧子 (スケールによる)

・荷重範囲: スケールによる

HRC
 ロックウェル スケール



HRC = 100 - 500 h

図 8.1 ロックウェル硬さ (C スケール)

・定義: 基準荷重 → 試験荷重 → 基準荷重 と変化させ、
 押し込みを行い、前後2回の基準荷重時のくぼみ
 深さの差からスケール毎の定義式より求める。

表 8.1 ロックウェル硬さの各種スケール

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~

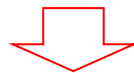
●ロックウェル硬さの特徴

- 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 くぼみ寸法の測定が不要 → 個人誤差の入り余地がない
- ④ 多くのスケールがあり、対象材料により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?
- ・ビッカース硬さ: 単位面積あたりの力 (圧力と同次元)
- ・ロックウェル硬さ: 押し込み深さ I を数値処理したもの
ある種の

・各硬さ試験において、物理的意味や定義式が異なるため、換算は不可能
厳密な



- ・異なる硬さ試験方法による、同一試験片に対する試験結果 → 横並びに表示
- ・異なる硬さの試験片に対する、同一試験方法による試験結果 → 縦並びに表示

したもの: 「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
目的でない=こともある



●他の機械的特性値
(強度、耐摩耗性、など)の簡便
な推定のため用いられる。

●硬さ値と関連付けられる他の機械的特性
との関連:

- ・降伏応力、引張強度、耐力
- ・疲労強度、耐摩耗性、切削性

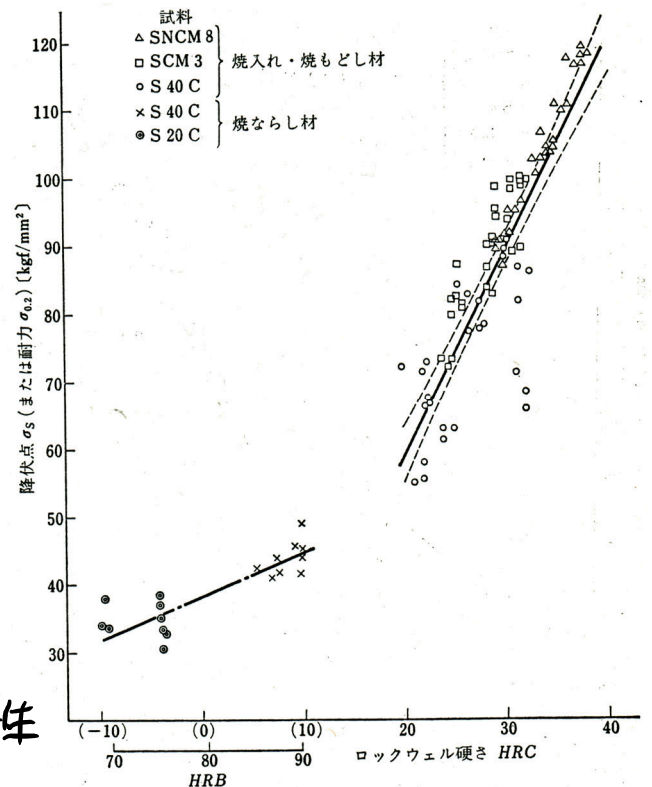


図 8.3 各種鋼材における HRC と σ_s の関

●ビッカース硬さ HV と引張強さ σ_B の関係 :

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

・SI 単位系への換算:

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

$$\sigma_B \text{ [kgf/mm}^2\text{]} \div \frac{1}{3} HV$$

$$\sigma_B \text{ [MPa]} \div 9.8 \times \frac{1}{3} HV = 3.3 HV$$

・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.

Handwritten calculation showing the conversion of HRC to σ_B using a ratio method.

HRC values: 25.6, 25.1, 24.8. Ratio: 0.8 : 0.3 = 15 : x

Calculation: $x = \frac{0.3}{0.8} \times 15$

Result: $840 + \frac{0.3}{0.8} \times 15 = 845.625 \dots$

Final result: $840 + \frac{1}{5} \times 15 = 843 \text{ MPa}$

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			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	30	45				
							スケール	スケール	スケール				
						15	30	45					
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（石更工）試験
 結果から、材料特性を評価

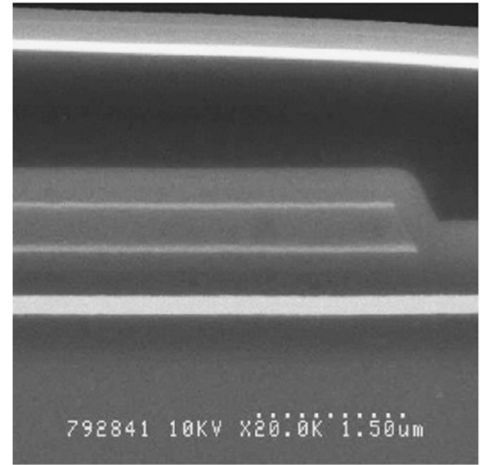


図 9.1 有機 EL 回路の断面 SEM 写真

●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 レベルの機能性薄膜

例②: 微粒子 (μm レベル) を分散させた複合材料

- ・一般的な材料特性評価試験 (引張試験) では評価不可能
- ・従来の石更工試験 (ブリネル・ビッカース) でも評価は困難

① 押込み対象領域が小さすぎる (荷重が不適合)
 → 微小領域のみの特性を抽出することが難しい

② くぼみの光学的観察が困難
 → 電子顕微鏡を使用すれば可能だが手間がかかる。

- 圧子にかかる試験力、およびそれにより圧子が材料に押し込まれる深さ (押し込み深さ) を計測し、そのグラフ (押し込み曲線) から材料特性を評価

5 行う ... 「計装化押し込み試験」

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

- ・硬さ試験の違いや特徴を知れた, 3種類の硬さ試験がある意味を整理できた, 同じ硬さ試験でも物理的意味が違うことに驚いた, 1回目と2回目の基準荷重時のくぼみ深さの差は塑性変形分だけという説明がわかりやすかった, 硬さ試験にも色々あって面白い, 完璧に物質を評価することは難しいとしみじみ思った, ビッカースの短所をロックウェルがカバーしていてすごいと思った:13 ←硬さ試験についてかなり理解が進んだようなら良かったです.
- ・他の硬さ試験と混同しないように復習する, なかなか復習できていないためしっかり復習する, 要点を抑えて学習したい, 硬さの種類や定義や単位等を使いこなすため復習する, 今まで以上に時間をかけて復習する, 重要なところを中心に復習する, 理解しづらかったところがあったので復習する:10
- ・だんだん小テストの点数を取れるようになってきて嬉しい, 単語埋めで高得点を取れた, 穴埋め問題は苦手だが対策したのである程度できた, 穴埋めであったことを忘れていた, くぼみ形状を「ひし形」と書いてしまった, しっかり復習したことでそこそこできた, スケールのアルファベット順がばらばらで困惑した:9 ←今回の小テストは平均6.5点, 満点15名でした. 満点を取れる人が増えてきたのは, 皆さんの努力の証ですね.
- ・早く硬さ試験の実験をしてみたい, 学生実験で実際に試験を見ているのでイメージしやすかった, 直近の実験で行ったのでより理解が深まった, 実験と合わせて硬さ試験を学ぶことができよかった:7
- ・明日の補講を忘れないように気をつける:3 ←私も気を付けます.
- ・換算表の比例計算をどうするか迷った, 例題を自力で解けるようにしておく:2
- ・この授業に限らず全体的に難しくなっている, 授業の内容がだんだんとわかりやすく興味深いものに見える:2
- ・期末に向けて準備する:2
- ・最近毎回発言できているのでこれからも続ける ←ありがとうございます, ぜひ!
- ・今日は疲れが溜まって眠かったが頑張った ←今日ゆっくり休んでください.
- ・換算表からの読み取り系が苦手

●質問

- ・ロックウェルの方がメリットが多いように思ったがビッカースやブリネルの中でどれが最も正確か(使い分けについて)? ←授業中にも話したように, ロックウェルは工業的に(産業界で)よく用いられている硬さ試験です. 一方, ビッカースやブリネルは工業用としても使われますが, むしろ硬さ試験(押し込み現象)の研究の際にはロックウェルよりビッカースやブリネルが選ばれる傾向があります(硬さ結果が物理現象と関連付けやすいため).
- ・ロックウェルの円錐圧子の先端が丸いのには意味はあるのか? ←工業用として使用されるためには多数回の試験を実施する前提となります. 圧子先端が鋭利ですと多数回の試験実施に伴い圧子先端が摩耗や損傷する可能性がありますので, 丸みを帯びていた方が理に適っています.
- ・ビッカース硬さから引張強さに変換する過程がいまいちわからなかった ←関係式の方でしょうか, それとも換算表の比例計算の方でしょうか? 比例計算なら例題をよく見て自分で考えてください(難しいことはしていません). 関係式の方は, 研究の結果そのような関係(3倍程度)が見出された, という事です.
- ・ $\sigma_B \doteq 9.8/3HV$ の式を使うと違う数値になるが? $HV \doteq 3\sigma_B$ で $\sigma_B \doteq 3.3HV$ なら $HV = 9.9HV$ になる? ←9.9ではなく $9.7999\dots \doteq 9.8$, つまり kgf を N に換算する際の重力加速度の値(9.8)です.

8.7 第7回小テスト解答

Q.1 硬さ試験全般, ブリネル硬さ, および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. [(a)・(b):各1点, (c)~(f):各2点]

硬さ試験全般として, ①試験片準備が比較的容易, ②試験実施の所要時間が[(a)], ③形成されるくぼみ(圧痕)がごく微小なため, いわゆる[(b)]試験と見なせる, といった特徴がある.

ブリネル硬さ HB は, 圧子押し込み荷重を, 形成されるくぼみの[(c)]で除する事で定義される. また圧子球直径 D 一定の場合, 荷重 W を変化させると得られる HB が変化してしまう現象が生じる. これを回避するため, W/D^2 の比率を一定に保つ必要がある.

一方, ビッカース硬さ試験で使用される圧子形状は[(d)]であるため, 形成されるくぼみ形状は荷重によらず常に[(e)]となり, 同一試料であれば荷重を変化させてもビッカース硬さ HV は[(f)]となる.

A.1

- (a)[短い] (b)[非破壊] (c)[表面積(「面積」は減点, 「断面積」は×)]
 (d)[四角錐(同様の表現なら OK)] (e)[相似(「同じ形」「同形」「同一」は×)]
 (f)[一定(同様の表現なら OK)]