

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
圧子, もしくは鋼球
圧子

・荷重範囲: スケール毎に
設定されている

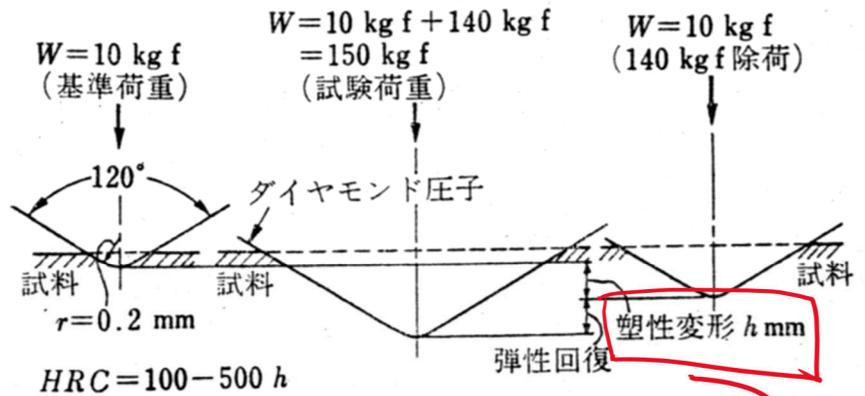


図 8.1 ロックウェル硬さ(C スケール)

・定義: $HRC = 100 - 500h$
(Cスケール)

基準荷重 → 試験荷重 → 基準荷重 という順序で荷重を
変化させた印込みを行い、前後2回の基準荷重時のCほみ

表 8.1 ロックウェル硬さの各種スケール 深さの差から求める。

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 くぼみ長さの測定を行わない → 個人誤差が入らない
- ④ 多くのスケールがあり、対象材料に応じて使い分ける必要がある。

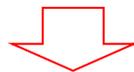
製品の検査用には適している。

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:「単位面積あたりの荷重」の次元を持つ。
- ・ロックウェル:塑性変形の深さを数値処理しただけ

・ 各異なる試験法において、物理的意味や定義式が異なるため、一律で比較・換算はできない。



・ 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を横並びにする。

・ 硬さの異なる試験片に対する同一試験方法の試験結果を縦並びにする

↳ 表にまとめたもの: 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: 硬さ値自体より他の機械的特性値の取得にも用いられる。

- 強度, 耐摩耗性, 耐衝撃性等

強度特性

- 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, 引張強さ, 耐力
- ・ (材質・使用条件を限定すれば) 疲労強度, 耐摩耗性等

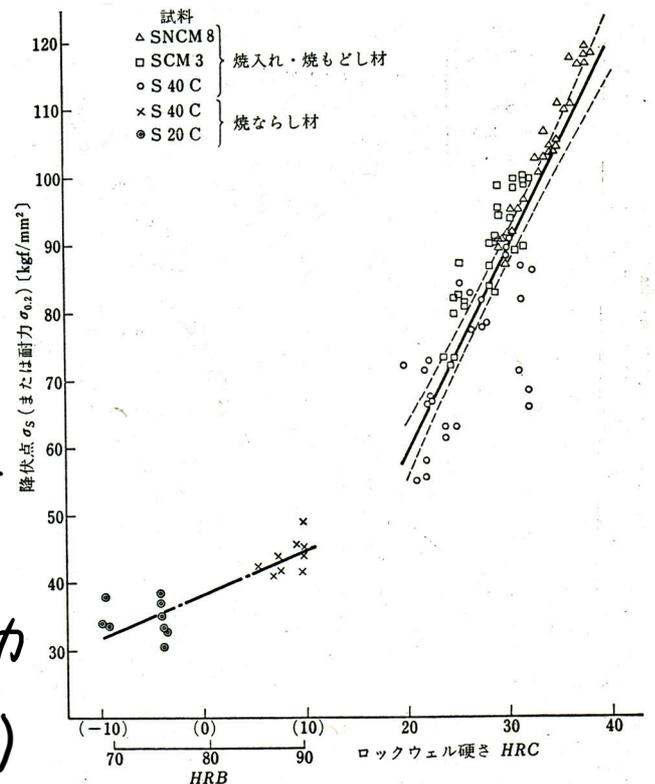


図 8.3 各種鋼材における HRC と σ_s の関

●ビッカース硬さ HV と引張強さ σ_B の関係：
$$HV \doteq 3 \sigma_B \left[\frac{kgf}{mm^2} \right]$$

・SI 単位系への換算：
$$\sigma_B \left[\frac{kgf}{mm^2} \right] \doteq \frac{1}{3} HV$$

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

$$\sigma_B \left[MPa \right] \doteq 3.3 HV$$

・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。

0.8 $\left(\begin{matrix} 25.6 \\ 25.1 \\ 24.8 \end{matrix} \right)_{0.3} \left(\begin{matrix} 855 \\ \underline{846} \\ 840 \end{matrix} \right) ?$

$$\rightarrow 840 + \frac{0.3}{0.8} \times 15$$

$$= 845.625$$

$$= \underline{846 MPa}$$

$$HV \rightarrow \underline{843 MPa}$$

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				
							-	-	-				
						N	N	N					
						スケール	スケール	スケール	荷重15kgf	荷重30kgf	荷重45kgf		
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、ごく微小荷重による押込み (硬工) 言式試験、よびその結果からの材料特性評価。

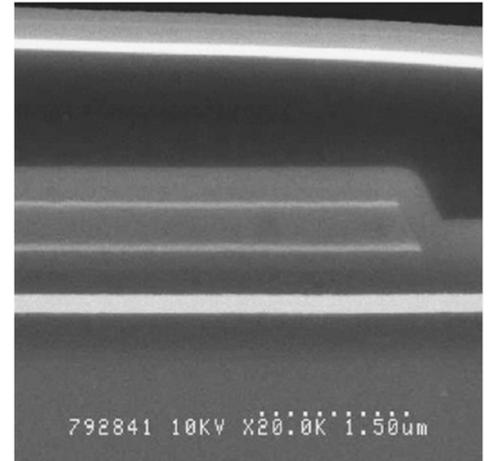
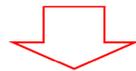


図 9.1 有機 EL 回路の断面 SEM 写真

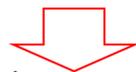
●機能性デバイス/材料の開発とその材料特性評価の必要性

例①: nm ~ μmレベルの有機発光性薄膜

例②: 微粒子 (μmレベル) を分散強化させた複合材料



- ・ 一般的な材料特性評価言式試験 (引張言式試験) は適用不可能... 単一材料、かつある程度の大きさが必要のため。
- ・ 従来の硬工言式試験も適用は困難



- ① 押込み対象領域が小さい (荷重が不適合)
→ 微小領域のみの特性を抽出することが困難
- ② くぼみの光学的観察が困難
→ 電子顕微鏡の使用... 時間がかかる。



●

8.6 第8回講義に関する意見・感想・質問のまとめ

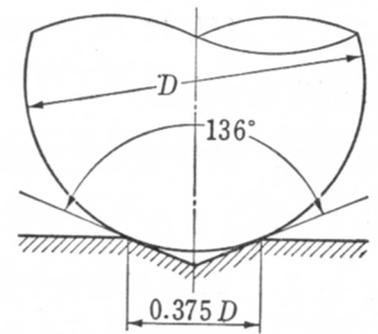
●意見

- ・しっかり復習する, 来週も頑張る, 主に単語を理解する, HV/HB/HRC の違いをしっかりと復習する, 各硬さ試験を混同しない, これまでの復習を計画的にする, 小テストで点数が取れるように頑張る, 復習を実験までに行う:20
- ・ビッカースとロックウェルの違いがわかった, 各硬さは物理的意味が違うので単純に比較できないと理解できた硬さ試験からの換算がわかった, 表から換算できることを学んだ, ロックウェルの利点を学んだ, 他の機械的特性に変換できるところが面白い, ロックウェルはスケールの選択が大変そう, 換算表がとても便利だ:17
- ・ブリネルとビッカースの理解が乏しい, 小テストの用語で怪しいところがある, 小テストで細かい減点がありそう, 小テストの難易度はちょうど良かった, 文章のところが覚えられていなかった, 前回内容が理解しやすかったので小テストも問題なかった:, HV を求める時の W は kgf のままで計算することを忘れていた:文章問題だと自信を持って答えられないところがある, ビッカース硬さの係数がわからなかった, 前回よりは小テストが解けた:10←今回の小テストは平均 6.8 点, 満点 13 名でした. 多かった減点箇所を解答ページに書いておきました.
- ・換算表の比例計算に時間がかかった, 比例計算の簡単なやり方を習得したい:3
- ・GW を挟んで前の内容を少し忘れていた, 前回休んだので授業内容についていけなかった:2←休んだ場合は自身で授業内容のフォローをするべきでしょう. そのための web アップロードでもあります.
- ・ナノスケールの硬さ試験(次回内容)が楽しみ:2
- ・書く内容が盛りだくさんだった, GW 明けの 1 限はきつかった:2←私もきつかったです...
- ・丁寧でわかりやすかった, 動画があるとイメージしやすい:2
- ・kgf の単位換算は 9.807 をかけることを忘れない←正確には, 計算の中で重力加速度の必要な桁数は変化します(毎回 4 桁で良いわけではない).
- ・GW で一通り復習できた←GW 中に勉強とは, エラいですね!
- ・1-4 回の記入済みファイルをスマホで見ようとするとエラーになり見えない←これも本人に直接連絡してみます.

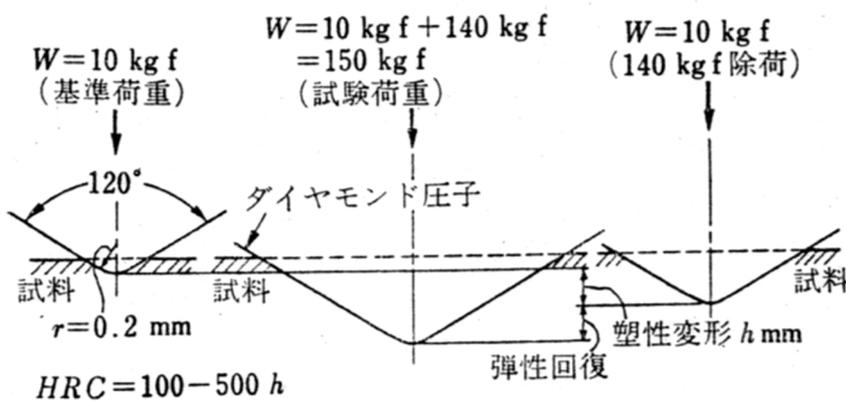
●質問

- ・ロックウェルの定義式の数値が何を基に決定されたのか? ←明確な基準というものはなく, 表 8.1 の適用例で示されるような材質を試験したときに大体 0~100 の範囲内に収まるように定数を決めた, ということです.
- ・ロックウェルは物理的意味はなくても単位の次元は長さということか? ←長さに基づいた値ですが, ロックウェル硬さの値もビッカースと同様に単位はつけません.
- ・スケールが A,B,C の順じゃないのは理由があるのか? ←表 8.1 は圧子と定義式に基づきまとめた表なので, そのような順になっているだけです.
- ・降伏点を超えない力でどんなに長い時間力をかけ続けても塑性変形はしないのか? ←しません.
- ・作業の大変さを考慮しなかったらどの硬さ試験が優れているのか? ←これは授業中にも話したように, どのような目的・用途で用いるかによって変わりますので, そういった前提条件抜きで一概にどれが一番優れていると決めることは難しいでしょう.
- ・HB と HV は次元が似ているが正確に変換できないのか? ←授業でも話したように, 元々ビッカースはブリネルの改良版として開発された経緯がありますので, 変換というより条件がそろえば HB と HV は同一の

値になります。例えばビッカース圧子の対面角(136°)は、下図のように球圧子の押し込みにおいてくぼみ直径 d が圧子球直径 D の 0.375 倍となるよう定められたもので、この 0.375 という値は前回説明した「ブリネル硬さにおいては d が $0.2 \sim 0.5D$ となるよう荷重を選択する」ことに由来しています。また例題で示した換算表の一番下あたりでは、HV と HB の差がかなり縮まっていることもわかります。



- ・ロックウェルの h がなぜ塑性変形長さなのか？ ← 試験荷重 (150kgf) から 2 回目の基準荷重 (10kgf) に荷重を落とすことで、追加した 140kgf 分の押し込みによって生じた全変形のうち弾性変形は元に戻り消失します (図中の「弾性回復」) が、塑性変形は元に戻らないため残ります。つまり、1 回目の基準荷重の位置を原点とした時の塑性変形のみ深さが h となります。



8.7 第7回小テスト解答

Q.1 ブリネル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]

ブリネル硬さ試験において、試料硬さが HB450 以上になると [(a)] 球圧子自体が [(b)] 変形を生じる。これを回避するため、圧子を [(c)] 球に変更する方法が取られる。一方、[(a)] 球圧子と [(c)] 球圧子で得られる結果に差が生じる、という問題があるため、ブリネル試験結果では [(d)] を明記する必要がある。

A.1

(a)[鋼] (b)[塑性]
 (c)[超合金] (d)[圧子材質]

Q.2 炭素鋼試験片において、 $W=5.00$ 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： $\frac{(141+139)}{2} = 140. \mu\text{m} = 0.140 \text{ mm}$

$$\therefore \text{HV} = 1.854 \frac{W}{a^2} = 1.854 \frac{5.00}{0.140^2} = 472.959... = 473 [\text{単位なし}]$$

多かった原点ポイント

- ①0.140mm を「0.14mm」と記述(有効数字的には $0.140 \neq 0.14$)
- ②対角線長さの平均が μm 単位のまま硬さを計算
- ③HV の値を指数表記で記述(指数化する必要なし)

