

超音波硬さ計ソノハードSH-1型について

Ultrasonic Hardness Tester **SONOHARD** Model SH-1

石橋 久左衛門*

Kyuzaemon Ishibashi

安藤 昌司**

Shoji Ando

橋本 徹雄***

Tetsuo Hashimoto

Synopsis :

The ultrasonic hardness tester **SONOHARD** Model SH-1 is designed for measuring the material hardness electrically by making an indentation on an object, and reading the hardness value indicated on the calibrated ammeter which is sensitive to the changes in hardness caused by such indentation.

SONOHARD consists of a manual probe and a hardness indicator. The manual probe contains a Vickers diamond-tipped rod assembly vibrating at ultrasonic frequencies. The standard instrument is calibrated for steel in Rockwell c units 20-70, and its scale is linearized. The total load on the indenter is usually approximately 900 grams, and a precise coil spring insures the constancy of the load in use.

As **SONOHARD** probe is extremely light and can be easily handled by one hand, this tester can measure quickly the hardness of any heavy steel objects by simply applying the probe from any positions, vertical, horizontal or overhead. Moreover, since the indicator itself is designed as a portable type, **SONOHARD** is convenient for workshop testing purposes.

As the hardness value is detected as an electric signal, this instrument will make it possible to automate the hardness testing and put it on the on-line system.

1. まえがき

金属の硬さ試験機としては、古くからビッカース、ロックウェル、ブリネル、ショアなど多種多様の硬さ試験機が使用されている。ショア硬さ試験機以外は、通常被測定物を試験機のところに持ってこなければならぬので大きなものは測定できない。またショア試験機は被測定物の大きさにほとんど制限をうけず、簡便に測定できるとはいえ、測定上種々の問題点がある。さらに従来の試

験機は硬さ値を電気的な信号としてとり出すことができないので測定およびデーター処理の自動化は困難であった。

ここに紹介する超音波硬さ計はビッカース、ロックウェル硬さ試験機などと同様一種の押し込み型硬さ試験機に属し、ビッカース微小硬さ計と同程度の軽荷重を有するものであるが全く原理を異にしている。すなわち、ビッカース、ロックウェル硬さ試験機のように圧子の押し込み深さを顕微鏡やダイヤルゲージで測定するのとは異なり、超音波

* 計量器工場開発設計室課長

*** 計量器工場開発設計室

** 計量器工場開発設計室掛長

振動を使用し、硬さの変化を振動数の変化として電気的に測定するものである。このため、

- (1) 測定が迅速にできる
- (2) ポータブルであるので簡便に被測定物のところに持ってゆくことができる
- (3) 下向き方向、上向き方向、横方向からでも測定できる
- (4) 硬さ値が電気的な信号で検出されるのでデーターのプリントアウトやリミットゲージ方式の採用、測定の自動化、オンラインでの測定も可能となる

など種々の特長がある。

一方超音波振動を使用するため、

- (1) 薄板や小さな被測定物についてはより大きなブロック状のものと音響的に固定しないと測定できない
- (2) 被測定物のヤング率によりその測定値が異なる。すなわち標準試験片と同材質でないと正しい測定値がえられない
- (3) 組織の不均一な材質に対しては測定値のばらつきが大きい
- (4) 被測定物の表面あらさの影響を受けやすい

などの欠点もあるが、硬さの現場的測定器としてその特長を生かして使用すれば十分その効果を発揮すると思われる。

以下に当社計量器工場で製品化した超音波硬さ計ソノハードSH-1型についてその原理、構成および2, 3の測定例を紹介する。

2. 原 理

図1に示すように、先端にダイヤモンド圧子をつけた棒の一端を固定し、この棒を自由振動させると(振動は縦振動)、図1(a)のように先端が振動の腹となるような振動の周波数で共振する。また図1(b)のように、棒を一定の力で被測定物に圧入(圧入深さは、被測定物の硬さで決まり通常数ミクロン)して振動を与えると、棒の先端の振動が拘束されるため、共振時の振動の腹は図1(b)のように先端より上部に移動し、そして共振周波数は図1(a)の自由振動の時より高くなる。被測定物

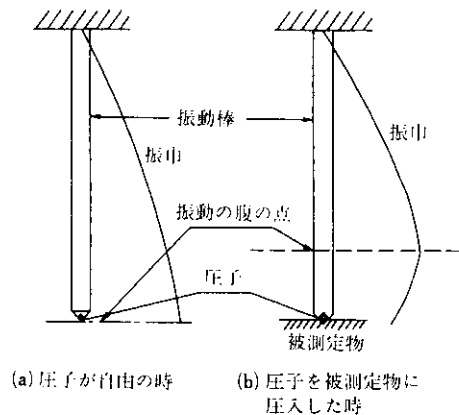


図1 超音波硬さ計原理図

が軟かくダイヤモンド圧子の圧入が深くなれば、振動の拘束力が増し、共振周波数はよりいっそう高くなる。すなわち、硬さと一定の関係にある圧入深さ(圧痕の大きさ)により振動棒の共振周波数が変化することになる。したがって、この振動棒の共振周波数を測定すれば硬さを知ることができる。

しかし、振動の拘束力は、圧子の圧入深さばかりでなく、被測定物の音響インピーダンス(ヤング率に²⁾関係する)によっても変化するので、超音波硬さ計は目盛の校正に用いた基準片の材質と被測定物の材質が同じでないと正しい測定はできない。

3. 装置の構成

ソノハードは、圧子、振動棒を含むプローブ、正しい荷重を加えるためのノーズピース、プロー

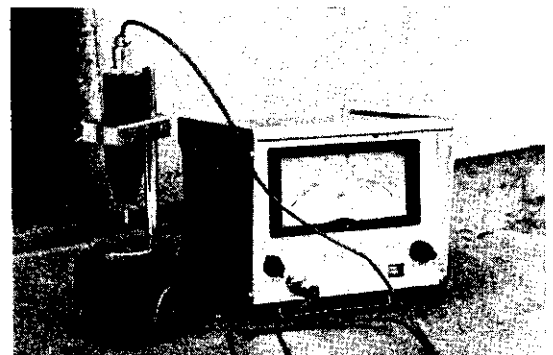


写真1 ソノハードSH-1型の外観

プローブを被測定物に正しく当てるためのアタッチメント、硬さ指示計および主要電気回路を含む本体より構成されている。

写真1にソノハードSH-1型の外観を示す。

3.1 ソノハードSH-1型の標準仕様

硬さ目盛範囲：20～70H_RC 50等分目盛 および
0～100等分目盛

測定精度：±1H_RC

ただし、スタンドを用いて硬さ基準片を測定した時。

圧子および圧子荷重：対面角136°正四角錐ダイヤモンド圧子

荷重約 900g (パネ荷重)

被測定材：鋼 (H_RC目盛) 特殊鋼, 黄銅, 銅
などは0～100目盛にて較正し使用する。

硬さ指示方式：指示計直読型目盛長140mm

電源： A. C. 90～240V, 10VA, 50/60Hz

外形寸法および重量：本体 5.5kg

226×184×290mm

プローブ 380g

40φ×154mm

3.2 プローブ

図2にプローブの内部構造の概略を示す。プローブは、硬さを電気信号に変換する検出端で、振動棒、圧子、励磁コイル、振動検出用チタバリおよび

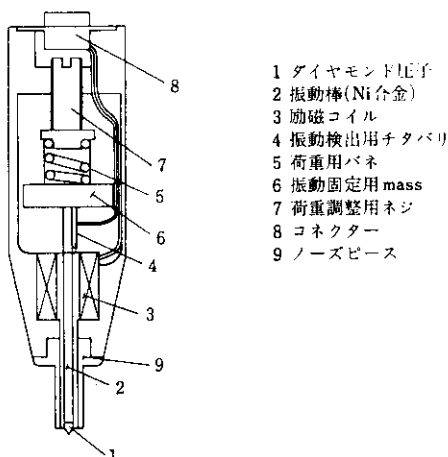


図2 プローブ

よび、荷重用パネなどより構成されている。振動棒は磁歪材 (Ni合金) で作られ、その先端にダイヤモンド圧子が接着してある。棒の片端は音響インピーダンスの大きな質量に固定され、つねに振動の節となるようになっている。またこの振動棒は励磁コイルにより励磁され縦振動を行ない、その振動は棒に接着されたチタバリによって検出される。圧子にかかる荷重はパネによって決められているので、プローブを横向きや上向きにしても使用できる。

3.3 ノーズピース

測定荷重を常に一定に保つためにプローブの先に付け使用するもので、ステンレス製のパイプ状のもので、長さは、プローブに取付けた時、振動棒の先 (圧子) がこのノーズピースより約0.5mmだけ出るようになっている。すなわち測定時 (被測定物に当たった時) には振動棒はプローブ内へ0.5mmだけ押込まれ、パネによる規定荷重が圧子に加わるようになっている。

3.4 アタッチメント

プローブを被測定物に当たった時、圧子により被測定物に正しい圧痕ができるようにプローブを安



写真2 ロール表面硬度測定状況

定させるもので、被測定物の形状により、それぞれに適合したアタッチメントを使用して測定する。写真2はロール検査用アタッチメントを使用して、ロールを検査しているところ。写真3は各種アタッチメントを示す。

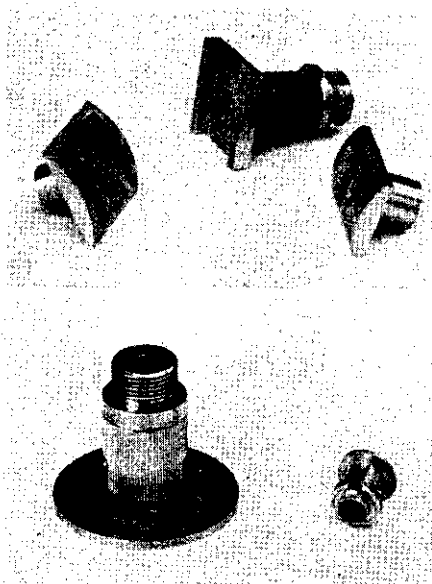


写真3 各種アタッチメント

3.5 本体

図3に示すように、主発振増幅器→励磁コイル→磁歪棒（振動棒）→振動検出用チタバリ→主発振増幅器の発振ループは振動棒の共振周波数で発振し、この発振周波数 f_1 が、前述の原理により、被測定物の硬さに関係し変化する。この場合、発振周波数 f_1 を直接電流などに変換してメーター

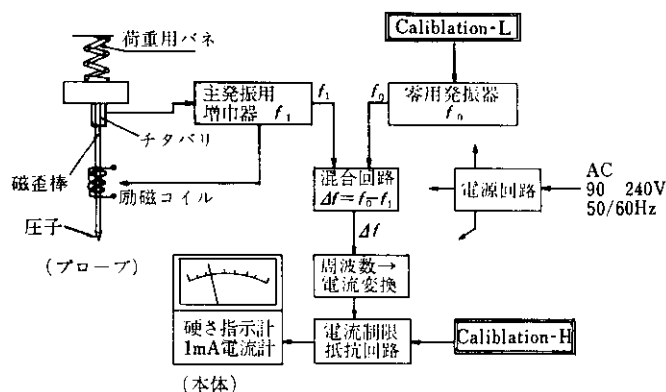


図3 ソノハードSH-1ブロック図

を振らしても硬さは測定できるが、 f_1 の硬さに対する変化率が小さい（たとえばHRC20の時 $f_1=20$ kHz、HRC70の時 $f_1=18.5$ kHz）ので精度良く測定できない。したがってSH-1型では、上記発振ループとは別に、零用発振器を設け、この発振周波数 f_0 を上記 f_1 より少し高く決めておき、（たとえば $f_0=20.1$ kHz）この f_0 と上記 f_1 とを混合回路に入れ、ビートダウンし $\Delta f=f_0-f_1$ なる信号をとりだし、この Δf を周波数→電流変換回路により電流に変換し、この出力電流を電流計に流し硬さ（HRC）を指示するようにしている。なお、硬さと周波数 f_1 または Δf は直線関係にはないので、周波数→電流変換回路の特性を非直線とし、結果として硬さと出力電流が直線関係になるように補正している。このために硬さ目盛が等分目盛となり、使い易くなっている。図4に発振周波数 f_1 、零用周波数 f_0 、出力電流 I の特性の一例を示す。

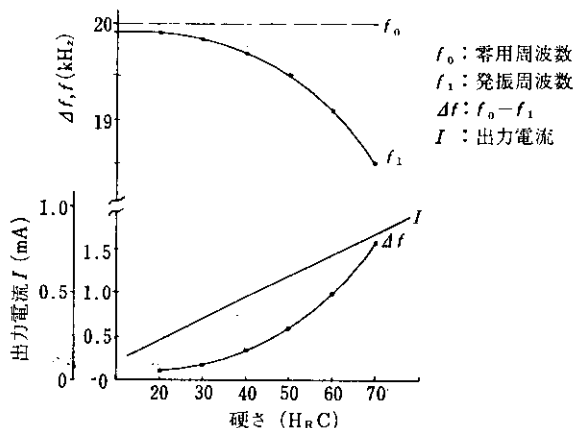


図4 SH-1の特性

4 ソノハードによる測定例

表1はHRC硬さ基準片をソノハードを用いて測定した結果である。図5はプローブを手持で測定したときのHRC硬さ基準片の測定値のバラツキの一例を示したものである。これらから手持で測定しても十分精度よく測定できるが、硬い材料に比べて軟かい材料ではバラツキが多少大きくなることがわかる。表面粗さの影響をみると表2のようになる。表面粗さが12sより粗くなると急激にバラツ

表 1 H_RC 硬さ基準片の測定結果

基準片の呼び硬さ (H _R C)	測定方法	測定値平均	標準偏差
25.6	スタンド	25.6	0.5
	手持	25.6	0.4
34.2	スタンド	34.2	0.3
	手持	34.3	0.4
45.6	スタンド	45.6	0.3
	手持	45.4	0.4
55.6	スタンド	55.6	0.3
	手持	55.6	0.3
64.4	スタンド	64.3	0.2
	手持	64.1	0.2

測定回数：50回

- 注) 1. スタンドとは測定用スタンドを使用し、ノーズピースは6φ、アタッチメントなしで測定した時のことである。
2. 手持とは平板用アタッチメントを使用し、プローブを手で持って測定した時のことである。
3. 目盛の較正はH_RC25.6およびH_RC64.2の基準片を用いスタンドで行なった。

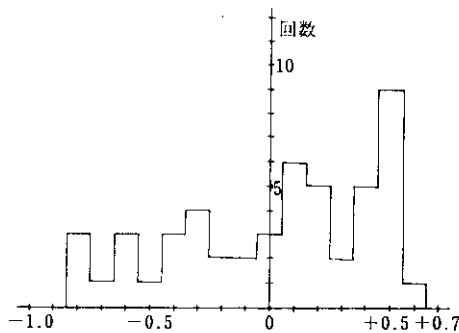
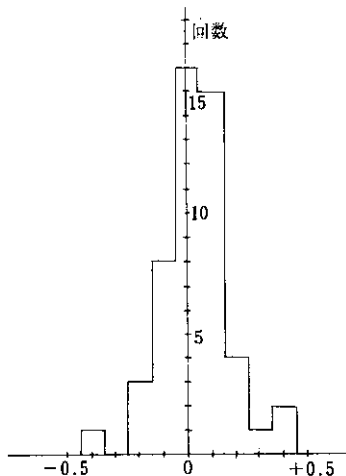
(a) H_RC 25.6硬さ基準片測定値 ヒストグラム(b) H_RC 64.2硬さ基準片測定値 ヒストグラム図 5 H_RC 硬さ基準片の測定値のバラツキ (手持測定)

表 2 表面あらしの影響

表面あらし 硬さ (H _R C)	3 s	6 s	9 s	12 s
31.5	32.2 (0.7)	32.0 (0.9)	34.6 (0.7)	33.5 (1.0)
50.6	50.1 (0.5)	50.1 (0.8)	51.3 (0.4)	51.1 (1.2)
65.5	65.0 (0.6)	65.3 (0.9)	64.9 (0.6)	64.9 (1.0)

数値は100回測定値の平均

() 内は標準偏差

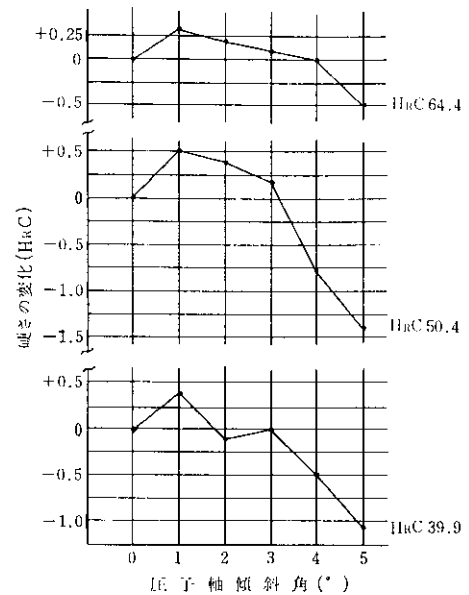


図 6 圧子軸の傾きの影響

表 3 表面に付着した油の影響

硬さ基準片 (H _R C)	油の有無	測定値バラツキ	平均値
25.6	なし	1.0	25.5
	有	0.3	25.9
30.5	なし	0.4	30.4
	有	0.5	29.5
50.0	なし	0.4	49.8
	有	0.5	49.7
60.4	なし	0.4	60.2
	有	0.3	60.3

測定回数：5回

油はマシン油を測定面に塗った (油有りの時)

キが大きくなり、誤差も大きくなるので使用できなくなる。表面アラサが1~12sの時は1回の測定だけでは誤差が大きくなる可能性があるので数

回(2~10回)の測定値の平均値をとるようにする必要がある。図6は硬さの変化に対する圧子軸の傾きの影響を示したものである。圧子軸の傾きが 3° 以内であれば測定値にほとんど影響していない。したがってソノハードはロックウェル硬さ試験機(圧子軸の傾きが 3° のときCスケールで1.0位小さく測定されるといわれている¹⁾)に比べると圧子軸の傾斜に対してやや鈍感なようである。測定値に及ぼす表面に付着した油の影響を

調べると表3のようになる。このようにソノハードでは表面に油(マシン油)が付着していても影響なく測定できるので、現場で測定する時のように表面に油が付着している場合にも問題なく使用できる。

硬さ試験機の安定性の目安としてはかたさ研究会ロールかたさ分科会規約のショア試験機定期管理要項²⁾があるが、これに準じてソノハードの安定性について試験した結果を表4に示す。

表4 ソノハードSH-1の安定性

基準片 月日 測定	HrC 26.1					HrC 50.0					HrC 67.3				
	1/27	1/28	1/29	1/30	1/31	1/27	1/28	1/29	1/30	1/31	1/27	1/28	1/29	1/30	1/31
1	26.1	26.0	26.2	25.9	26.0	49.7	49.5	49.8	49.8	49.8	67.4	66.9	67.0	67.1	66.8
2	26.0	26.1	26.2	26.0	25.7	49.5	49.5	50.0	50.0	49.8	67.3	66.8	67.1	67.3	66.9
3	26.3	25.8	26.0	26.0	25.7	49.5	49.5	50.0	50.0	49.6	67.3	66.7	67.2	67.2	66.8
4	26.2	25.8	25.8	26.0	26.0	49.8	49.5	49.6	49.7	49.7	67.5	67.0	67.3	67.1	66.9
5	26.0	26.3	26.0	25.8	25.7	50.0	49.8	49.8	49.8	49.6	67.3	66.9	67.2	67.2	67.0
$\bar{X}$	26.1	26.0	26.0	25.9	25.8	49.7	49.6	49.8	49.9	49.7	67.4	66.9	67.2	67.2	66.9
R	0.3	0.5	0.4	0.2	0.3	0.5	0.3	0.4	0.3	0.2	0.2	0.3	0.3	0.2	0.2
C	0	-0.1	-0.1	-0.2	-0.3	-0.3	-0.4	-0.2	-0.1	-0.3	+0.1	-0.4	-0.1	-0.1	-0.4
R_m	0.1	0	0.1	0.1		0.1	0.2	0.1	0.2		0.5	0.3	0	0.3	

$\bar{X}$: 1日5回測定の平均値

R : 1日5回の測定値のバラツキ

C : 基準硬さと $\bar{X}$ との差

R_m : $\bar{X}$ の移動量

注) 目盛の較正は1/27に行なったままで以後は行なわない。

表5 被測定物の大きさの限界

試験片 寸法	油ぬらず HrC R	油をぬる HrC R	ロックウェル 試験機 HrC	備 考
4t×30φ	57.1(6.1)	54.7(3.0)	54	比較のためロ ックウェル試 験機圧痕の近 傍をソノハー ドではかつ た。
4×40	47.4(10.3)	55.6(2.9)	56	
4×50	44.5(5.1)	56.3(2.1)	54	
5×30	53.0(5.6)	57.3(1.1)	56	
5×40	48.6(5.2)	54.7(2.7)	55.4~56.3	
5×50	54.1(6.4)	53.8(2.4)	53.0~56.0	()内はバ ラツキ、測定 回数5回
6×30	49.8(5.8)	54.1(2.7)	55.0~56.2	
6×40	63.6(2.8)	54.3(2.3)	53.0~57.0	
6×50	47.3(7.4)	53.1(3.0)	52.4	数値は5回の 平均値R
7×30	48.3(7.2)	53.5(2.2)	56.0~56.5	を示す。
7×40	56.3(2.3)	54.2(2.6)	53.0~56.5	
7×50	54.4(2.1)	54.4(2.0)	53.0~54.2	

注) “油をぬる”とはマシン油を間に塗り15t×50φ銅の台に密着させた時の測定値である。

これよりソノハードの安定性が良好であることがわかる。ソノハードは超音波振動を被測定物に与えるので、あまり小さいものあるいは薄いものを測定する場合には油をぬって大きなものに密着(間の空気層を無くす)して測定しなければならない。表5からわかるように7t×50φ以下の大きさのものでは油をぬり大きなものに密着して測る必要がある。また油をぬり大きなものに密着させることができれば厚さ0.2mmのもの(カミソリの刃など)まで測定できる。

次にHrC以外の硬さスケールとの関係を図7, 8, 9に示す。ビッカース硬さ(Hv)およびショア硬さ(Hs)の基準片の材質はHrC基準片と同じSK材であるので、目盛較正はHrCそのまま正しい測定ができる。すなわち一般の硬さ試験機の測定値間の換算表⁴⁾がそのままソノハードに

も適用できる。これに対し図9のロックウェルBスケールの基準片は黄銅であるので、 $H_RB\ 20.2$,

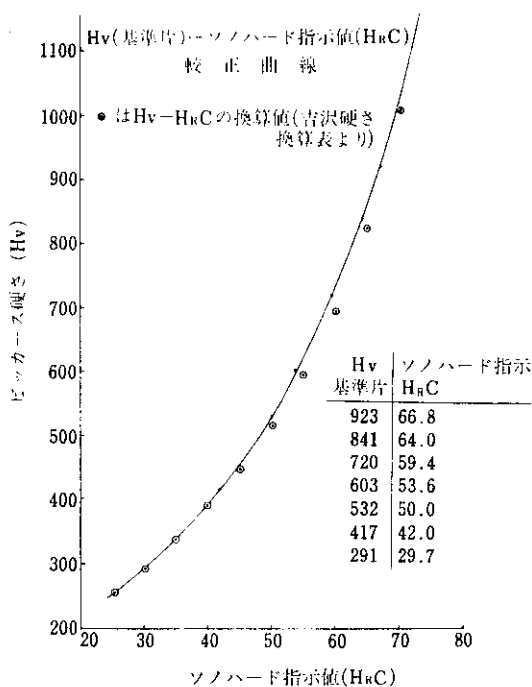


図7 Hv基準片の測定

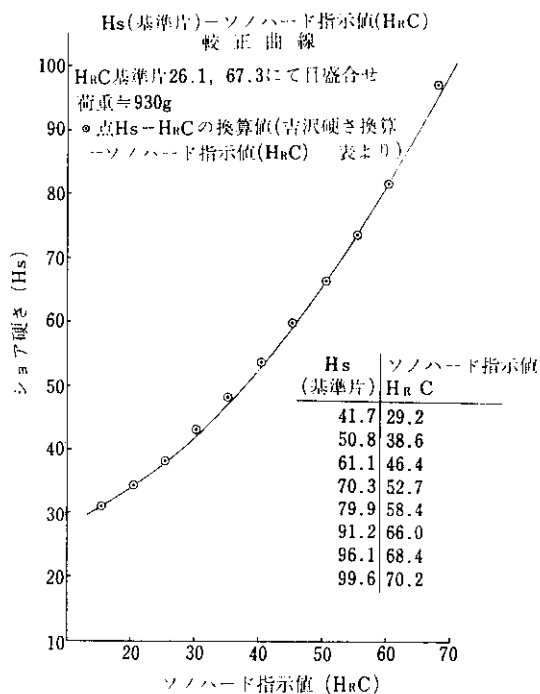


図8 Hs基準片の測定

$H_RB93.5$ の2つの基準片を測定した時ソノハード指示が100目盛でそれぞれ20.2および93.5を指示するように目盛較正を行ない(本体のつまみにより簡単に行なえる。)測定した。このように軟かい材料に対してはバラツキが多くなり $H_RB\ 20$ 近辺で6~8 H_RB , H_RB90 近辺で2~4 H_RB 位のバラツキがあった。

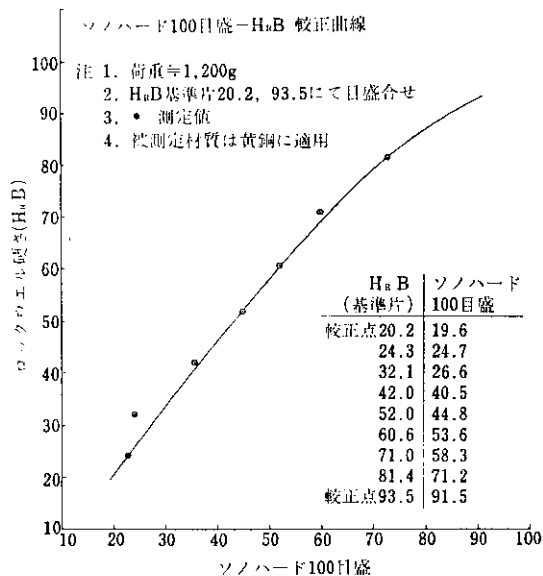


図9 H_RB 基準片の測定

5. むすび

現用の硬さ試験機はその硬さ測定法にしたがってそれぞれ異なったスケールが使用され、その間には全く理論的な関連性はなく、目的に応じて使いわけが行なわれ、万能的ではない。超音波硬さ計も同じように、いろいろ使用上の制限があるが、持ち運びが簡単で迅速に測定でき、しかも硬さを電気信号としてとらえることは従来の硬さ計と全く違った有用性をもつものであって、今後測定の自動化あるいは生産ラインへの組み入れなど多くの利用面が考えられその意義は大きいと思われる。

参 考 文 献

- 1) G.M.L. Gladwell, C. Kleesattel : Ultrasonics, 6 (1968) 4, 224
- 2) 実吉, 菊池, 能本 : 超音波技術便覧, (1966), 1324 [日刊工業新聞社]
- 3) カタサ研究会ロールカタサ分科会編 : 圧延ロールのかたさ測定, (1965), 18
- 4) 吉沢武男 : 硬さ試験法とその応用, (1967) 68, 295 [裳華房]