

# 圧延ロールの硬さ測定



関谷三郎\*・望月俊男\*<sup>2</sup>

## Hardness Measurement on Mill Rolls

Saburo SEKIYA and Toshio MOCHIZUKI

### 1. はじめに

鉄系、非鉄系を問わず、材料の圧延用ロールは、ロール表面の硬さ測定値によつて、評価、管理、保証がなされている。特に、ショア硬さ値は、測定値の取得が簡便で、現場作業に適しており、測定後の残留くぼみの形状が、その後の圧延作業に大きな支障をもたらさないなどの利点から、従来、大型機械部品には、もつばら、ショア硬さ測定が実施されてきた。表1は、ロールの種類と胴部表面のショア硬さの適用例を示す。

しかし、ショア硬さ値が、商取引の指標になると、測定値は、当然、普遍性が要求される。もしも、普遍性のない値では、たちまち、ロールの使用者と製造者の間で、測定値の信頼性をめぐつて、トラブルが発生してしまう。上記のトラブルを解消し、信頼度の高いショア硬さ値を確立するため、我が国では、25年も以前から、ロールの使用者と製造者が協力して、委員会を組織し、実状を調査研究し、有効適切な対策を実施してきた。この委員会の活動については、部分的な紹介記事<sup>1)2)</sup>がいくつかあるが、以下にその概要を記述する。

### 2. 委員会の目的と構成

ロール硬さ委員会の目的は、ロールの関係者が日常作業上、信頼できるショア硬さ値を取得する方法の確立であつた。物理的意味不明の硬さを、工業的な計測量として、測定値に普遍性を与えるには、関連事業所と硬さの研究に興味を持つ大学の関係者とが協力して調査研究をする場が必要であつた。

そこで、昭和34年8月、圧延ロールの使用者、製造者の21事業所が正会員となり、故吉澤武男(東大工)、太田文二(日本海事協会)、関谷三郎(東大工)の3名が個人会員となつて、カタサ研究会(現日本材料試験技術研究会)の中に、ロールカタサ研究分科会(現ロール硬さ委員会)を発足させた。

現在までに取り組んだ課題を整理すれば、1) ショア

硬度計の精度とその改良、2) 硬度計の操作法の問題点、3) 硬さ基準片の測定とロールの表面の硬さ測定値との関係、4) マスターロールの製作、5) 高硬度ショア硬さ基準片の製作、6) 実態調査の実施などであり、その内容は、ロール硬さ委員会資料に集録され、その報告総数は、535通の多きに達している。

なお、現在のロール硬さ委員会の正会員は、次の16事業所であり、\*印は幹事会社である。

\*川崎製鉄(株)、\*関東特殊製鋼(株)、久保田鉄工(株)、(株)神戸鉄所姫路工場、(株)神戸製鋼所高砂事業所、\*新日本製鉄(株)、住友重機械鑄鍛(株)、大同鋼板(株)、\*日本鋼管(株)、\*(株)日本製鋼所、日本冶金工業(株)、日本ロール製造(株)、日立金属(株)、\*日立製作所勝田工場、\*三菱製鋼(株)、(株)淀川製鋼所大阪工場

なお、委員会の主査は、昭和34年8月より昭和48年3月まで、吉澤武男(東大工)、その後昭和59年3月まで寺沢正男(武蔵工大)、現在は、主査山田武男(材試研名誉員)、研究担当幹事関谷三郎(工学院大専)、事務局山本普((株)山本科学)が担当している。

### 3. 委員会の成果とその概要

#### 3.1 硬度計の型式の選択

鉄鋼製大型重量物製品の関係者の間では、長年にわたり、製品管理にハンマの反発最高位置を目測するC型、硬さ値がダイヤルゲージに指示されるD型の2種類のショア硬度計が使用されてきた。いずれの型式の硬度計が圧延ロールの硬度計に適しているかを定めることは、委員会発足当初大きな関心事であつた。

そこで、当時としては、最良と考えられる両硬度計を、試験機メーカーに用意してもらい、ロール硬度測定に熟練した多数の測定者に集合してもらい、繰返実測の多数のデータから表2のごとき結論を得た。なお、C型の目測に対しては、測定者の読みとり作業と同時に、8mmカメラによつて、ハンマの反発最高位置をとらえ、これと目測値との比較を行い不確定値を調べた。

昭和60年1月7日受付 (Received Jan. 7, 1985) (依頼解説)

\* 工学院大学専門学校 工博 (Special Engineering College of Kogakuin University)

\*<sup>2</sup> 三菱製鋼(株)技術開発センター (Research & Development Center, Mitsubishi Steel Mfg. Co., Ltd., 1-9-31 Shinonome Koto-ku 135)

表 1 各種ロールと胴部表面ショア硬さの例<sup>6)</sup>

材質	種類	胴部表面のかたさ HS	用途例	
鉄	炭素鋼ロール	a	各種粗ロール	
		b		
	特殊鋼ロール	a	分塊ロール, 鋼片粗ロール	
		b	分塊ロール, 鋼片・鋼板・条鋼・型鋼用粗ロール	
		c	分塊ロール, 型鋼用粗ロール	
	アダマイト鋼ロール	a	条鋼・型鋼用粗仕上げロール	
		b	連続鋼片・棒鋼用粗仕上げおよび中仕上げロール	
		c	条鋼・型鋼用中仕上げロール	
	黒鉛鋼ロール	a	{ 分塊ロール, 鋼片粗ロール 条鋼・型鋼粗仕上げロール	
b				
バックアップ用ロール	a	熱間用ロール		
	b	冷間用ロール		
鍛	普通鍛鋼ロール	30~40	粗ロール	
	特殊鍛鋼ロール	a	分塊・鋼片・条鋼用粗ロール	
		b	分塊・型鋼用粗ロール	
	鍛鋼焼入ロール	a	バックアップロール	
		b	冷間仕上げ用ロール	
	センジミヤロール	>85	ワークロール, 中間ロール	
スリーブ式ロール	50~70	冷間・熱間用ロール		
鋼	鍍金ロール	a	亜鉛鍍金用ロール	
		b	錫鍍金用ロール	
		c	アルミ鍍金用ロール	
鉄	普通チルドロール(粘質)	50~60	{ 厚板・中板仕上げ用ロール, 薄板・ぶりき粗および仕上げ用ロール, 中・小形仕上げ用ロール, 非粗圧延用ロール 同上の他に鋼管・ビニール・ゴム板圧延用ロール 薄板仕上げ用ロール, 製紙用カレンダーロール	
		(中質)		60~65
		(硬質)		65~70
	合金チルドロール(低合金)	65~75	{ 帯鋼・小形仕上げ用ロール, 線材中仕上げおよび仕上げ用ロール, 薄板・冷間・非鉄粗および仕上げ用ロール ホットストリップ仕上げ用ロール, ぶりき・珪素鋼板・高級仕上げ 鋼板などの冷延用ロール, 非鉄冷間仕上げ用ロール	
		(高合金)		75~95
	グレンロール(低合金)	40~65	大・中・小形粗・中間および仕上げ用ロール { ホットストリップ仕上げ用ロール, 中・小形仕上げ用ロール, 鋼管・帯鋼粗ロール	
		(高合金)		57~90
	中抜ロール(合金チルドおよびグレンロールに適用)	70~95	ホットストリップ仕上げ用ロール, 鉄および非鉄薄板仕上げ用ロール	
	鉄	普通サンドロール	35~40	{ 小形・伸鉄粗ロール, 中・小形粗ロール, 大・中・小形中間および 仕上げ用ロール
		合金サンドロール	40~50	大・中・小形中間および仕上げ用ロール
カリバーチルドロール		45~60	中・大形用ロール, 鋼管用ロール	
ダクタイルロール		35~75	線材・形鋼用粗・中間および仕上げ用ロール	

### 3.2 機枠重量を 8kg に統一

ショア硬度計は、計測筒と機枠とから成り立っている。なお、計測筒の読みとり値(C型)と指示値(D型)は、可能な限り、機枠上で、基準片基準値に一致するように調整される。当時、機枠は一体構造ではなく、アンビルが打ち込まれ、しかも、機枠重量が、メーカー間で

まちまちであった。そのため、折角、機枠上で計測筒を基準片の基準値に一致するように調整しても、ロールの硬さ測定のごとく、機枠より計測筒を取り外して、手持測定すると、硬度計の硬さ値は、異なった値を示すことになる。

そこで、機枠重量と硬さ測定値の変化の関係を調査研

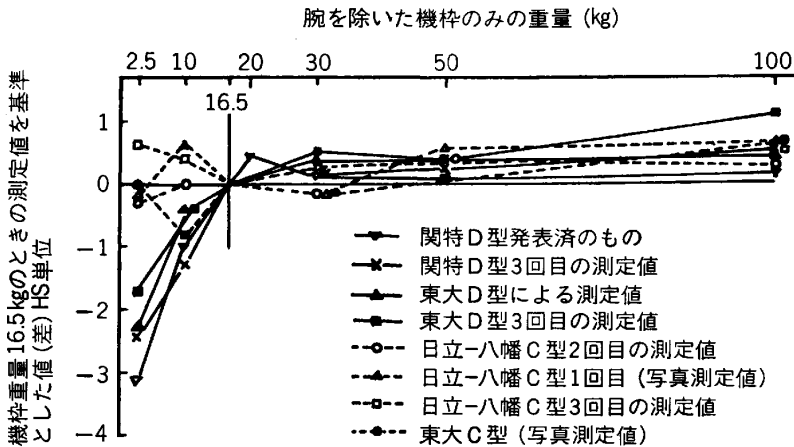


図1 機枠重量がかたさ基準片(HS 80付近)のショア硬さ測定値に及ぼす影響・機枠のアンビル径が 40φ mm の場合<sup>6)</sup>

表2 C型, D型試験機の長所と短所<sup>6)</sup>

	C 型	D 型
長所	基準片測定の際、機枠重量が測定値に影響を与えない。細長いロールの端面近くまで測定が可能。測定の速度が早い。	測定値がダイヤルに指示される。測定値のばらつきが小さい。
短所	基準片測定では、周辺低下の傾向が大きい。計測筒垂直度の影響が大きい。読みとり値(測定値)にどうしても、不確実性が混入してしまう。	細長いロールの端面近くでは測定値が低下する。機枠重量が測定値に影響を与える。ハンマ落下のハンドル操作法の差によって測定値が変化する。機枠上で、試料を計測筒が押し付ける力の大小で測定値が変化する。

究し、その結果から、機枠の構造はアンビル打ち込みなしの一体機枠とし、重量を 8 kg にすることに決定した。現行の JIS B 7727 ショア硬さ試験機の測定は、上記を参考にして決められたものである。図1は、機枠重量と硬さ測定値の変化の関係を示す一例である。

3.3 ショア硬度計の調整と管理

ショア硬度計は、硬さ基準片の基準値に、読みとり値(C型)、指示値(D型)を一致させる必要がある。この方法をどうするかが大きな問題であった。

1948年 D. TABOR はハンマの反発高さを求める式<sup>3)</sup>を提案している。

$$h = 0.34 \frac{p^2 d^3}{mg} \left( \frac{1}{E_1} + \frac{1}{E_2} \right) \dots \dots \dots (1)$$

ここで、 $h$ :ハンマの反発高さ、 $d$ :くぼみ直径、 $p$ :動的平均圧力、 $m$ :ハンマの質量、 $g$ :重力の加速度、 $E_1, E_2$ :ハンマと試料のヤング率。

他方、1944年吉澤<sup>4)</sup>は、ショア硬さの基準値を、ビッカース硬さ値(平均圧力)から求めることを提案した。JISの規定になっている次式は、この提案によるものである。

$$VHS = \left\{ 1.7026 \left( \frac{HV}{1000} \right) - 0.9224 \left( \frac{HV}{1000} \right)^2 + 0.2291 \left( \frac{HV}{1000} \right)^3 \right\} \times 100 \dots \dots \dots (2)$$

VHS はビッカース硬さ測定値 HV から得られるショア硬さ値の意味。

(1)式によると、ハンマの先端半径を少し修正すれば、くぼみ  $d$  が変化し、 $h$  つまり硬さ測定値が敏感に変わることになる。その結果、(2)式によつて決められる基準片の基準値に、硬度計の指示値を一致させるには、ハンマの先端半径を修正する。この修正技術の適用によつ

試験機	型式	No.	硬さ試験機 検査、管理図	HS ≒95							
	メーカー										
検査月日											
	8月	12	14	15	16	18	20	21	23	26	27
定期、日	日	日	日	日	日	日	日	日	日	日	日
$\bar{x}$	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	0.30	0.70	0.50	0.90	0.40	0.30	0.50	0.10	0.80	0.50	
$R_m$	0.4	0.2	0.4	0.5	0.1	0.2	0.4	0.7	0.1	0.1	
$R$	0	0.5	0.5	0	1.0	0.5	1.0	0	0	0.5	
基準硬さ	(6月15日より) 94.8										
記事	管理限界(UCL,LCL)および $\bar{x}, \bar{R}$ は7月10日より8月8日までのデータより計算										
検査											
備考	測定回数: $n=5, R_m$ : 移動範囲 UCL: 上方管理限界 $\bar{x}$ : 測定値-基準硬さ LCL: 下方管理限界 $\bar{R}$ : ばらつきの平均値 $\bar{x}$ 管理限界= $\bar{x} \pm E_x \bar{R}_m$ $\bar{R}$ 管理限界= $D_4 \bar{R}$ $\bar{x}$ : 算術平均値 $E_x$ : $\bar{x}$ の平均係数 $E_R$ : $\bar{R}$ 管理図用係数 $D_4$ : $R$ 管理図用係数										

図2 管理簿の記入例<sup>6)</sup>

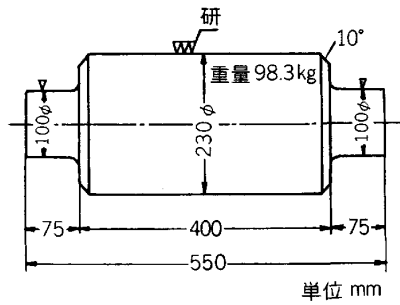


図 3 試作マスターロール<sup>6)</sup>

表 3 マスターロールの基準値 (昭和 47 年 6 月決定)<sup>6)</sup>

ロール	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧
HSD	100.4	94.3	89.1	83.1	71.6	61.0	49.0	43.4
HSC	99.9	93.9	89.0	82.8	71.4	60.2	48.5	42.7
VHS	96.1	89.9	85.1	80.1	69.9	59.7	48.4	43.0
HSD-HSC	0.5	0.4	0.1	0.3	0.2	0.8	0.5	0.7

(注)ここに示す VHS とはロール上で実測した HV から便宜的に共析鋼用換算表を用いて求めた HS の値である。

て、現在、ショア硬度計の指示値の調整がなされている。

なお、ロールの硬さ測定機は、図 2 に示すような  $\bar{x}-R$  の管理図を作成し、計測筒の管理を実施する。管理限界を外れた場合は、前記の調整方法を適用すればよい。

3.4 マスターロールの製作

計測筒の手持測定で実施されるロールの硬さ測定では、図 2 の管理された計測筒でも、複数台の計測筒では、測定値間に硬さ値の“くい違い”が生ずることがある。この場合の対策として、ロールと同様な状態の基準塊つまりマスターロールが最終的には必要となる。

昭和 39 年に、委員会では、図 3 に示すような形状寸法で、硬さレベルで、約 HS 100, 95, 90, 80, 70, 60, 50 および 40 の 8 本のマスターロールを製作した。このマスターロールの基準値は、会員事業所が実施したショア硬さ実態調査の結果と大型ビッカース硬さ試験機によるビッカース硬さ値から表 3 に示す基準値を決定した。

基準のマスターロールは、各事業所が個々に保有する必要はなく、委員会で 1 組 8 本を保有し、会員事業所が測定値に問題が生じた場合にのみ利用に供することになっている。なお、このような基準のマスターロールを 8 本も用意し、計測筒の手持ちによるショア硬さ測定値の信頼性を確立している国は、我が国のみで、海外では例を見ない。

3.5 ショア硬さ測定の実態調査

表 2 に示したように、ショア硬度計は問題の多い測定器である。そのため本委員会では、発足の当初から、ロ

ールの使用者、製造者の両者から多数の測定者の参加を得て、硬さ測定の実態を調査している。この調査は年 1 回実施され、すでに 26 回も実施されてきた。

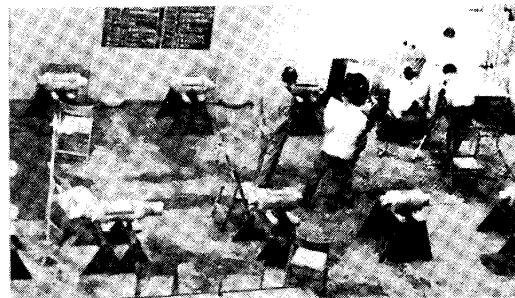
調査の内容は、基準片の硬さ測定、マスターロールの硬さ測定、製品ロールの硬さ測定、測定値の再現性、測定者の個人差による誤差、機差による誤差などが調査検討される。測定値は、その場で公開され、参加者全員による検討会がもたれるので、参加事業所の関係者にとつては、非常に有益な勉強会になっている。

また、この実態調査の実施により、これまでロールの使用者と製造者の間で個別に実施してきた“硬度照合”なる作業は必要なくなつた。この実態調査のデータがそれを代用している。写真 1 は、実態調査の状況を示す。

3.6 ロール用共同購入ショア硬さ基準片の製作配布

ロール関係者が使用するショア硬度計の管理用硬さ基準片は、本委員会が決めた製作仕様書によつて、年 1 回一括共同製作配布がなされている。一括製作されると、年度が変わつた場合の基準片基準値の“くい違い”などを最小に押さえることが可能である。

基準片の基準値決定機関は、ロール硬さ委員会なの



マスターロールの測定



写真撮影による C 型での読取り検査



かたさ基準片の測定

写真 1 ショア硬さ実態調査の現場<sup>6)</sup>

で、基準片には、“Roll”のマークが記入されている。硬さレベルは、HS 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 95 および 100 の 9 種になつている。この基準片の製造法および基準値の決定法は、JIS B 7731 ショア硬さ基準片規格を基礎にしているが、部分的には上記規格の内容より相当厳しい数値と測定法が採用されている。

なお、JIS B 7731 によると基準片の材料は SK 5 を用いることになつている。しかし、SK 5 では HS 100 を示す基準片ができない。そのため、本委員会は、ロール関係者のために、SK 2 を用い HS 100 を示す基準片を製作した。また、その基準値決定のための HV-HS 換算式は、過去の実態調査結果を参考にして、(2)式を修正し、(3)式を採用している。現在一般に市販されている HS 100 以下の基準片の基準値も(3)式によつて、値づけがなされている。

$$VHS = \left\{ 1.745 \left( \frac{HV}{1000} \right) - 1.1505 \left( \frac{HV}{1000} \right)^2 + 0.5818 \left( \frac{HV}{1000} \right)^3 - 0.1609 \left( \frac{HV}{1000} \right)^4 \right\} \times 100 \dots (3)$$

共同製作配布の方式は、昭和 35 年に第 1 回が実施され、昭和 59 年度で、第 25 回を数えている。その間、ロール関係者に配布された基準片は、約 15000 個に達している。写真 2 は“Roll”のマークが刻印されているショア硬さ基準片の例を示した。

### 3.7 ロール購入仕様書規約

ロールの注文者と製造者の間で、ロールのショア硬さ測定に関する事項に限り、なるべく意志統一をはかつた方がよいとの考え方から仕様書の規約が作られた。

内容は、使用する硬度計の管理法、ロール表面の測定位置、測定点数、硬さ値の指定方法などである。表 4 は、ロールのショア硬さ値を測定する場合の標準的な位置を示したものである。特に注文者からの指定のない場合は、この仕様書の規約によることになつている。

表 4 ロールの硬さ X の測定位置(数)の標準<sup>6)</sup>

(注)  $R_1$ : ロール 1 本内のばらつき  $= \bar{X}_{max} - \bar{X}_{min}$   $R_2$ : ペアロールとの差  $= |\bar{X}_1 - \bar{X}_2|$

ロールの種類	測定位置略図	測定位置の数		ばらつきの指定		対象ロール名
		胴部	軸部	$R_1$	$R_2$	
1. 冷間圧延用ワークロール(鍛鋼製焼入れロール)		5×4	2×4	3	3	○ スキンパス ○ タンデム ○ テンパーパス
2. センジミヤワークロール		5×2	—	4	4	○ ワーク 第 1 中間 第 2 中間
3. 冷間補強ロール		3×4	2×4	4	4	
4. 熱間補強ロール(除厚板)		3×4	2×4	4	4	
5. 厚板補強ロール	同上	3×4	2×4	4	4	
6. 同上熱間作動ロール	同上	3×4	2×4	4	4	○ 厚板仕上げワークロール ○ ホットストリップワークロール

### 3.8 新しい E 型ショア硬度計の開発

C 型、D 型のショア硬度計はハンマの反発高さ  $h$  を求める方式で、(4)式がその定義式である。

$$HS = K \frac{h}{h_0} \dots \dots \dots (4)$$

ただし  $h_0$ : ハンマの落下高さ、 $K$ : ショア硬さ値にするための係数

もしも、試料にハンマが衝突する直前の速度  $v_0$ 、衝突した直後の速度  $v$  が測定されれば、(4)式は(5)のごとくなり、この式からショア硬さ  $HS$  が求められることになる。

$$HS = K' \left( \frac{v}{v_0} \right)^2 \dots \dots \dots (5)$$

ここで  $K'$  はショア硬さ値にするための係数

本委員会は、(株)東京衡機製造所の関連企業である(株)東衡テスタックの協力を得て、(5)式を基礎においた新しい硬度計-E 型ショア硬度計の開発を試みた。この硬度計は、C 型、D 型の計測法と異なつて、電気的計測が主体なので、データ処理が容易である。また、ハンマの落下は重力に依存した自由落下ではなく、スプリン

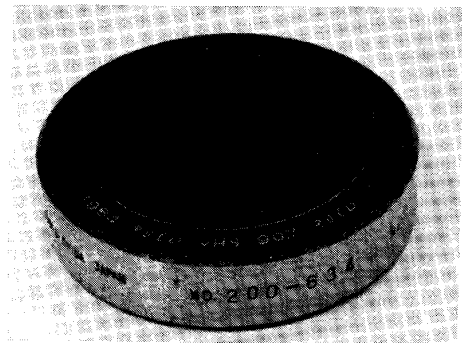


写真 2 Roll のマークが刻印されている基準片

ロールの種類	測定位置略図	測定位置の数		ばらつきの指定		対象ロール名
		胴部	軸部	$R_1$	$R_2$	
7. 分塊ロールおよび厚板粗ロール(キャリバーフラット)		3×4	2×4	4	4	ただし分塊ロールは #1 Kal 底と両 Kal 底各 1 計 3
8. キャリバーロール		3×4	2×4	4	4	各パス部
9. レベラーワークロール		5×2	2×2	3	—	

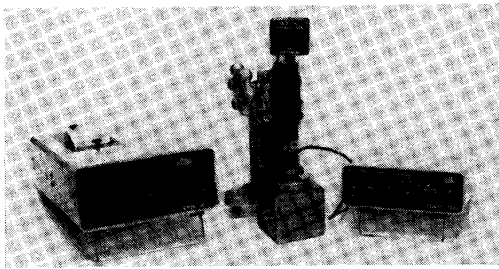


写真 3 E型ショア硬度計

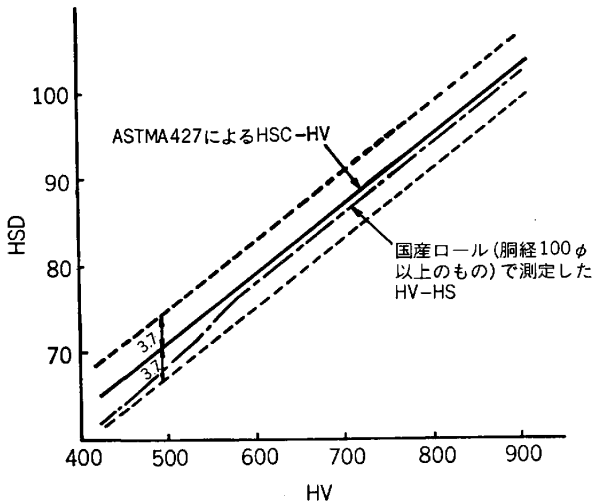


図 4 鍛鋼製ロール本体での HV と HSD の関係<sup>6)</sup>

グのエネルギーを利用した強制衝突なので、ハンマの運動中の摩擦抵抗も無視でき、計測筒の垂直保持に気を使うこともなく、斜めからの計測が可能である。その結果、現場での計測筒手持測定によるショア硬さ値取得は、よりいつそう信頼度が高くなる。

写真3は、新しいE型ショア硬度計の外観図を示す。大形重量物のショア硬さ測定には、C型、D型と同様に、計測筒を機枠より取り外して、手持測定ができ簡便さでは同等以上である。

3.9 国外の事情調査

国内でのショア硬さ測定値の“くい違い”が縮小されても、ロールの輸出などの場合、国外の企業との間に、大きな“くい違い値”が存在するとクレームの原因となる。

本委員会は、図4に示すように、JISの方法とASTMの方法つまり、硬度計の精度、較正法、測定方法の違いに起因する硬さ値の相違を調査したり、海外の企業に、我が国から直接硬さ基準片を送付して、データを集め、測定値のくい違いの程度を検討している。

表5は、昭和56年から昭和57年にわたって実施した南アフリカ、オーストラリア、ブラジル、韓国、アルゼンチン、インド、ベネゼエラにある15の製鉄所の関係の実態を調査した結果を整理したものである。我が国の関係事業所の測定値と比較すると、相当大きな“ちら

表 5 外国企業のショア硬さ $\bar{X}$ のちらばり状況<sup>6)</sup>

およその HS	最大差 HS	
	外国企業	日本企業
95	8.6 (4.9~3.7)	2.0 (0.9~-1.1)
80	7.3 (3.7~-3.6)	2.6 (1.6~-1.0)
40	6.7 (5.7~-1.0)	2.9 (1.2~-1.7)

両者には、3~4倍の“ひらき”がある。

ばり”がある。

それゆえ、本委員会では、これまで実施してきた成果、硬度計の較正法、日常管理の方法などを英文のパンフレット<sup>5)</sup>にして、国外の関係方面に送付し、国際的な視野から、ショア硬さ測定値のくい違いの縮小に努力している。

4. おわりに

ショア硬さ試験法が提案されてから約80年になる。以来、この試験法は、測定値の信頼性に不安があるにもかかわらず、最も現場的な材質評価法として、各方面に利用されてきた。特に、圧延ロールのように、被検物が大形で重量物のものには、他の硬さ試験法の適用が困難なため、過去はもちろん将来とも、この評価法に依存せざるを得ない。

圧延ロールの使用者、製造者は、上記の理由をふまえて、昭和34年から、両者が協力して委員会を作り、ショア硬さ測定値の信頼性の向上に、地道な努力を傾けてきた。その成果は、各自の検査作業に反映され、今日では、測定値の不一致によるトラブルは、ほとんど解消し、製品の評価、管理、保証に寄与している。今後は、国内はもちろん国外の関係者にも、成果の内容の理解を求めていきたい。なお、本委員会の事務局は下記のとおりである。

〒273 船橋市栄町 2-15-4 (株)山本科学工具研究社  
内 ロール硬さ委員会 Tel. (0474)31-7451

文 献

- 1) 吉澤武男編: 硬さ試験法とその応用 (1967), p. 241[菱華房]
- 2) 寺沢正男, 山田武男, 関谷三郎: 材料試験技術, 24 (1978) 3, p. 2
- 3) D. TABOR: Proc. Roy. Soc. A. 192 (1948), p. 247
- 4) 吉澤武男: 日本機械学会誌, 47 (1944) 322, p. 47
- 5) Roll Hardness Committee: Roll Hardness Measured by Shore Hardness Tester MTRA, Japan (1978)
- 6) 材料試験技術研究会ロールカタサ分科会編: 圧延ロールの硬さ測定 (1978)