ショアかたさ測定値に及ぼす各種の影響に関する研究

(第8報) 試料面の傾斜が及ぼす影響*

町 田 周 郎**

Study on various Effects on Shore Hardness Number

(8th Report) The Effect of Inclination of the Specimen

by Shūrō MACHIDA

In this report, the effect of inclination of the surface of a specimen on the Shore hardness number was investigated.

The experiment was carried out with three Shore scleroscopes of D-type on many specimens different in hardness or in material.

It need scarcely be mentioned that the general requests for testing were satisfied in this experiment.

Especially operating conditions of the tester were carefully maintained constant throughout this experiment without being effected by the speed of the operating handle and the force with which the specimen was pressed.

As a result, the effect of inclination of the specimen on the hardness number was made clear.

That is, on the whole, the behaviour of this effect is separated into three sections.

Namely, 1st is a horizontal line section where the hardness number has no change, 2nd is a inclined line section where the hardness number drops at a constant rate, and 3rd is a horizontal linear section where the hardness number is scattered in certain range.

It has been revealed that the hardness of the specimen, and the structure of the tester, dimensions and finishing grade of its parts have influence upon this effect.

And, after all, it has been concluded that the effect of the inclination of specimen is so strong that, in practical testing, it is necessary to attend to keep the surface of the specimen normal to the measuring tube accurately.

1. 緒 言

著者はすでに主題の研究の一環として、操作ハンドルの回転速度⁽¹⁾、測定筒の押付け力⁽²⁾、試料の厚さおよび重さ⁽³⁾、試料の厚さおよび押付け力両者同時の変化⁽⁴⁾、端面効果⁽⁵⁾、衝撃くぼみ間距離⁽⁶⁾、のそれぞれがショアかたさ測定値に及ぼす影響のもようを順次調査研究し、さらに前報⁽⁷⁾においては、試験機本体の傾斜が及ぼす影響のもようについて報告したのであるが、本報においては、引続き試料の測定表面の傾斜がショアかたさ測定値に及ぼす影響の模様について研究を行った。

ショアかたさ試験法の原理はすでに周知のごとく、一定の重さのダイヤモンド錘を、一定の高さより試料の測定表面上に落下衝撃させ、その後のダイヤモンド

錘の反ばつ高さをもって、かたさ測定の基準としている。したがって、ダイヤモンド錘はいかなる拘束をもうけることなく、全く自由な状態で、水平に保持された試料測定表面上に鉛直に落下し、鉛直にはね返ることが、絶対に必要な条件とされなくてはならない。言い換えれば、試料の測定表面は鉛直に保持された測定筒に対して、常に正しく直角に保持されなくてはならない。もし、試料の上下両面が平行でなく傾斜しているとか、あるいはその他の原因によって、試料の測定表面が試験機測定筒の軸に対して、正しく直角に保持されないような場合、ダイヤモンド錘は試料測定表面上における衝撃、反ばつの際、生ずる水平方向分力(横方向分力)の作用のため、反ばつするダイヤモンド錘は、測定筒内部機構のいずれかの部分に接触し、摩擦のためのエネルギー損失を伴うほか、この横方向分力のため、鉛直方向の分力は正しく鉛直方向に落下反ばつする場合に比較して定性的により小さくなるはずである。

* 昭和32年9月27日 創立60周年記念地方第1区(仙台)講演会において講演、原稿受付 昭和32年10月3日。

** 正員、群馬大学工学部(桐生市天神町)。

さらにまた、試料面の傾斜にしたがって、測定筒中心部と試料面との間にできる間げきの量だけは、錘が保持される試料面からの一定高さに対して余分のものとなり、指示かたさ数に影響をおよぼすことになる。

したがって、試料の測定表面が傾斜しているときの錘の反ばつ高さは、正常の場合に比較し、定性的により低く、したがって指示かたさ数は小さく与えられることになる。

上記考察に見るごとく、この影響の模様を左右する原因の一つは、試験機の構造、寸法、工作程度にあり、したがってこの影響の模様は試験機ごとにそれぞれ異なった傾向を示すはずである。

またその原因の他の一つは、試料の弾性変形および塑性変形によっており、したがって試料の材質およびかたさによってそれぞれ変ってくるものと考えられる。

試料の傾斜がショアかたさ測定値に影響を及ぼすことは、古く Greenwood 氏⁽⁸⁾によって指摘されているものの、現今の一般の解説書⁽⁹⁾などにおいては、むしろ当然のこととして、深く説明を加えていない。しかも他方、この影響の模様についての系統的な研究は見うけられないようである。

ところで、以前行った端面効果に関する報告⁽⁵⁾の中で、筆者が注意を喚起したように、試料の仕上げに際し、周縁附近にできやすい多少の傾斜が、かたさ測定値に及ぼす影響は決して小さくないのである。

また、従来いろいろと論議されている試料測定表面のあらさの問題も、それが単に高低差のみをもって表わされるあらさ(roughness)と同時に凹凸のピッチ、またうねり(waviness)が影響のもようを左右する大きな原因であること⁽¹⁰⁾を考えると、試料面の傾斜の影響の模様を明らかにしておくことは、これらの考察に対して一つの有力な手がかりを与えることになる。

さらにまた、測定筒を機わくより取りはずして、手持ちあるいはスイングアームによって測定を行うような場合に、おこりやすい測定筒の傾斜が、かたさ測定値に及ぼす影響のもようは、試験機本体の傾斜が及ぼす影響⁽⁷⁾と試料測定表面の傾斜が及ぼす影響との組合せの結果と考えられるので、このような影響を検討するためにも、ぜひとも究明しておかなくてはならないことがらである(第 1 図参照)。

本報においては、このような試料測定表面の傾斜がショアかたさ測定値に及ぼす影響の模様を、D 型試験機を用いて具体的に調査研究した。

実験にあたっては、ショアかたさ試験法に対する従来諸般の要求、ならびに前報までの各報において提唱された諸条件を十分満足することはもちろん、特に人為的誤差のはいりやすい試験機操作法については特に注意を払った。すなわち、その操作条件が第 1 報⁽¹⁾および第 2 報⁽²⁾の結果を満足するとともに、本報の実験

第 1 図

のすべてについて常に一定となるよう、機械的に操作する方法を用いた。このような状態のもとに、かたさおよび材質の種々異なった多くの試料を用い、試料測定表面の傾斜を種々に変化しつつ、かたさ測定値変化の模様を調べた。

2. 実 験

実験は試料の裏面を研削し、試料自身に与えた傾斜を変えつつ、これを直接試験機受台上で測定を行う方法(実験 1)と、円筒型受台(径 50 mm、高さ 40 mm、ショアかたさ約 75)を用い、受台表面を順次研削して傾斜を変え、この受台上で測定を行う方法(実験 2)と、二通りの方法を用いた。

この受台を用いることに対しては、吉沢氏の研究⁽¹¹⁾に照し、使用する受台が上記のごとく十分かたく、用いる試料がいずれも 10 mm 以上の厚いものであるため、その影響は全くないものと考えてよい。なお、本報においてもまた、本実験にさきだち、あらかじめ全試料について行った測定の結果、受台を用いた場合の結果と用いない場合の結果とはほぼ完全に一致することを確認した。

使用した試験機は、前報⁽⁷⁾の場合と全く同じものであり、それぞれ製造者を異にする D 型 3 台である。その中 No. 2 は新品、他はいずれも永年使用中のものである。

用いた試料の詳細は第 1 表に示すとおりであるが、表中、実験 1 および実験 2 第 I 群に属するものは、材質いづれも鋼であって、ロックウェルかたさ標準片の中より適当な かたさ のものを選び、実験 2 第 II 群に属するものは、軟鋼、鋳鉄、高炭素鋼のほか、銅、黄銅、ジュラルミンなど、主として材質の異なったものを選定してある。なお、実験 2 に用いた全試料は、比較検討の便を考え、前報⁽⁷⁾において用いたものをそのまま使用している。

各試料の測定表面はいずれも、ペーパー、酸化クロムを用いて鏡面近くまで十分なめらかにみがいて使用した。また用いた試料はいずれも、その測定表面のかたさが均一であるかどうかを確かめるため、あらかじめ

第 1 表

実験	群	記	号	材	質	ロックウェル かたさ	ビッカース かたさ	ショア 換算 値	直 径 mm	厚 さ mm	重 さ g
1		1	RC-60	鋼		C59°0~60°0	635	76°5	46°80	10°10	133
		2	RC-50	〃		C50°0~50°5	493	65°0	46°78	10°10	135
		3	RC-40	〃		C40°3~40°7	396	54°5	46°80	9°90	132
		4	RC-30	〃		C31°4~32°2	295	41°5	46°80	9°85	131°5
		5	RC-20	〃		C20°6~21°2	238	34°0	46°83	9°85	132°5
		6	RB-90	〃		B91°0~92°5	196	28°5	47°00	9°75	132
		7	RB-70	〃		B71°0~73°0	143	21°0	46°93	10°00	133°5
		8	RB-50	〃		B48°8~50°6	106		46°80	9°85	133
2	I	1	RC-60	鋼		C59°6~60°1	637	76°5	46°95	9°57	128
		2	RC-50	〃		C49°5~50°0	504	66°0	47°00	9°71	130
		3	RC-40	〃		C40°8~41°2	406	55°5	46°90	9°65	128.5
		4	RC-30	〃		C31°2~31°4	303	43°0	46°95	9°56	128
		5	RC-20	〃		C20°3~20°9	235	33°5	46°90	9°55	127
		6	RB-90	〃		B89°0~91°0	190	28°0	47°05	9°36	126
		7	RB-80	〃		B81°0~82°5	155	23°0	47°10	9°36	126°5
		8	RB-70	〃		B71°5~73°5	132	20°0	47°10	9°58	128°5
		9	RB-60	〃		B62°0~63°5	106		47°05	9°11	123
		10	RB-50	〃		B48°0~50°0	92		46°95	9°59	129°5
II	11	Cu-5	銅			95		48°05	8°92	143°5	
	12	B-5	黄銅			87		45°55	11°20	152°5	
	13	D-5	ジュラルミン			113		43°55	9°00	37	
	14	CI-5	鋳鉄			190	28°0	47°95	9°20	118°5	
	15	HCS-5	高炭素鋼			225	32°5	42°70	11°21	125	
	16	MS-5	軟鋼			131	20°0	42°40	10°06	110°5	
備 考								SAEハンドブック(1952)による			

全面にわたり 10 個所についてビッカースかたさを測り、かたさが試料全面にわたって同程度であることを確認した。

そのばらつきはショアかたさ数に換算して最大約 1 程度であった。したがって、今回の実験に使用した試料全体について、かたさ数のばらつきはほとんど無く、測定結果を比較する場合も、測定値に補正を行うことをしなかった。

各試料の厚さおよび重さは同表に示すとおりであるが、これは第 3 報⁽³⁾の結果に照し、いずれも厚さおよび重さの影響を十分避ける条件を満足している。

実験装置の主要部は第 2 図に示すとおりであって、前報までの各報に用いたものと全く同様である。

すなわち、試験機機構操作ハンドルの回転は、電動機の回転をウォーム、ギア、およびプリー数段を用い

第 2 図

た減速装置を経て減速し、一定回転として付与しているが、本報の実験では、第 1 報⁽¹⁾の結果を参考として 1 分間 20 回転に一定とし、操作ハンドルの回転速度の影響が十分無視しうる範囲にとった。

また押付け力は一般の使用状態に準じ、押付け用ハンドルの代りに滑車を取り付け、これに細いひもを巻きかけ、このひもにおもりをつり下げることによって付与したが、試料測定表面が傾斜した場合、試料に与えられる真の押付け力は、測定筒に加わる見かけの押付け力よりも小さくなることを考慮しつつ、第 2 報⁽²⁾の結果を参考として、本報においては測定筒押付け力を約 40kg に一定とし、押付け力の影響も十分無視しうる状態とした。

かたさの測定はいずれの場合も 5 回ずつ行い、これらの算術平均をもって、それぞれの かたさ測定値とした。

3. 実験結果

測定結果の数例を第 3 図～第 8 図に示す。

すなわち、第 3～4 図は試料に直接傾斜をつけた実験 1 の結果を、第 5, 6 図は受台に傾斜をもたせた実験 2 の第 I 群試料に対する結果を、また第 7, 8 図は同じく第 II 群試料に対する測定結果を、それぞれ試験機ごとに整理して示したものである。

これらの線図を見ると、いずれも、その前後にそれぞれ水平直線部、およびばらつきのはなはだしい水

第 3 図

第 4 図

第 5 図

平直線部を伴った、傾斜した直線の傾向を示していることがわかる。

すなわち、これらの線図の傾向は、いずれの場合においてもすべて類似しており、大別して三つの特色ある区間に分けられるようである。すなわち、最初の水平直線区間、続く傾斜直線区間、および最後のばらつきのはなはだしい水平直線的区間がこれである。

第一の区間は、試験機の傾斜角のきわめて小さい範囲における、きわめてわずかな区間であって、ここでは線図が水平な直線的傾向を示し、測定かたさ数はいずれもほぼその材質の正しいかたさ数を示し、かたさ数に変化を示さない。

この限界の角度は、今回の実験においては、試験機、試料の相異にかかわらず、ほぼ $0^{\circ}40' \sim 1^{\circ}20'$ の範囲におさまっている。この区間の長さは試験機ごとに一定の値を示すものと考えられるが、このたびの実験結果の線図上から、それを確実に一定値として求めることはむずかしい。しかし、試料の相異にかかわらずそれぞれ試験機ごとに大略一定の範囲内におさまっているようである。すなわち試験機 No. 1 および No. 3 では、ほぼ $0^{\circ}40' \sim 1^{\circ}$ 、また No. 2 では、ほぼ $1^{\circ} \sim 1^{\circ}20'$ である。この区間の大きさは、試験機本体の傾斜が及ぼす影響⁽⁷⁾の場合に比較して、約 $1/2$ 程度まで小さくなっている。

第二の区間は、第一の区間にくわゆるかなり広い範囲であって、ここでは線図が傾斜をもった直線的傾向を示している。つまりこの範囲では、測定かたさ数は試料面の傾斜が大きくなるに従って、順次一定の割合で低下を示している。

このかたさ数低下の割合、すなわちこの直線の傾斜の程度（かたさ数降下率）は、図に見るごとく、材質のかたいものほど順次大となっている。この傾向は試験機の相異にかかわらず同様な傾向を示しているが、同一試片に対する傾斜の程度は、それぞれの試験機ごとに相異を示している。

この区間の傾向もまた前報の結果とよく類似しているが、かたさ数低下の程度は本報の場合の方がはるかに大きい。

このかたさ数降下率と試料のかたさとの関係を、今回用いた試料の全体について、各試験機ごとに整理して比較したものが第 9 図である。

この線図を見ると、両者の間にはほぼ完全な直線関係が存在することがわかる。

第三の区間は、上記傾斜直線部に続く最後の部分であって、いずれもそれぞれの試験機ごとに定まった一定の傾斜角のところから急激に、ばらつきのはなはだしい水平直線部に移行している。この区間においては測定かたさ数のばらつきはきわめてはなはだしく、

第 6 図

しかも測定たびごとに異なった値が得られるが、試料の材質およびかたさに全く関係なく、試験機のみによって定まる一定の範囲内におさまる、その全域にわたり水平直線の傾向を示している。

以上を総合した全体としての傾向は程度の差はあっても、試験機の相違にかかわらず、すべて同様であって、その構成において前報⁽⁷⁾の場合とかなり類似した傾向を示している。なお試料に直接傾斜を与えた実験1の結果と、受台に傾斜を与えた実験2の結果とは、測定の範囲内で全く一致した結果を示している。

さて、第一の区間でかたさ数に変化を生じないのはこのわずかな傾斜角の範囲では、ダイヤモンド錘とこれを保持または案内する案内環との間にある多少の間げき*のため、ダイヤモンド錘が傾斜した試料面から受ける多少の横方向分力の作用も、測定筒内における錘の自由反ばつに支障を与えるにいたらず、摩擦などによるエネルギー損失を伴わないためであろう。

したがってこの区間の長さは、試験機ごとにほぼ一定の値をとるものと考えられる。事実前述のごとく、今回の実験結果からもほぼそのことが立証されている。

* この間げきのことについては、ダイヤモンド錘が必ずしも常に測定筒の中心にのみ落下しないと言う裏付実験(第6報 予備実験)⁽⁶⁾を参照されたい。

第 7 図

第二の区間で、測定かたさ数が順次直線的下降を示すのは、試料面が傾斜しているため、鉛直方向に落下衝撃するダイヤモンド錘の反ばつに際し、錘に横方向分力が生ずること、また、その横方向分力の作用のため、反ばつするダイヤモンド錘と測定筒内部機構との接触による、摩擦のためのエネルギー損失、さらにまた傾斜に応じて大となる試料面と測定筒中心部との間げきの量が、試料面から保持されるダイヤモンド錘の一定高さよりも余分のものとなってくることが、おもな原因であると思われる。

上記影響のうち、前者に起因するものは、主として試料の弾性変形および塑性変形によって左右され、したがって試料の材質およびかたさによってそれぞれ変わってくるであろう。また後者に起因するものは、主として試験機の構造、寸法、工作程度によって左右されるものであり、したがってそれぞれの試験機ごとにほぼ同一となるはずのものである。

また第三の区間における測定かたさ数のばらつきがきわめてはなはだしい状態、および全体的に水平直線の傾向を示すのは、試料面の傾斜がこのように大きくなると、ダイヤモンド錘が測定筒より突出する量では、もはや試料面に届かず、落下するダイヤモンド錘が試料面を打撃する前に、ダイヤモンド錘の先端縁部が測定筒底ぶたの内面にあたり、そこから反ばつする

第 8 図

第 9 図

ためである。

したがって、その反ばつの状態はきわめて不規則であり、ばらつきもしたがってはなはだしくなっているが、その範囲はほぼ一定であり、傾斜角の大小にかかわらず、全体として水平直線的傾向を示している。またこの状態では、ダイヤモンド錘が底ぶたに対し強

第 10 図

い衝撃を与えることになるので、底ぶたの測定筒への締付け程度、支持の方法、および押付け力の大小などがダイヤモンド錘の反ばつの模様をかなり左右するものと思われる*。いずれにしても、この区間で与えられるかたさ数値は、試料自身のかたさとは全く関係のない値である。

以上のことから、第三の区間に移り変わる角度は、試験機ごとに相異してくるはずであり、第 3~8 図および第 10 図に見るとおりである。

* 第 9 報の検討実験を参照されたい。この間の模様をよく説明している。

今回用いた3台の試験機について、測定筒よりダイヤモンドが突出する量および測定筒下部の寸法、およびこれから計算で求めた最大衝撃角(ダイヤモンド錘が試料を衝撃する最大の傾斜角)と、測定結果から求めた最大傾斜角を比較すると、第2表のごとくである。

第 2 表

試 験 機 番 号	No. 1	No. 2	No. 3
測定筒よりのダイヤモンド錘突出量 mm	1.40	0.95	0.90
測定筒底ぶた外径 mm	8.95	6.95	8.90
最大 衝 撃 角 (計算)	17°22'	15°17'	11°26'
最大 衝 撃 角 (実験)	17°	15°	11°

以上、試料面の傾斜が及ぼす影響のもようは、総括して、すべての場合についてよく類似の傾向を示している。しかし上記考察の結果からもわかるように、この影響に差異を生ぜしめる主要原因の一つが、試験機の構造、寸法、工作程度にあることを考えると、この線図の形が試験機ごとに異なってくるであろうことは容易に想像できる。

第10図は、このたびの実験に用いた3台の試験機による、同一試片に対するそれぞれの結果を重ね合せて、こ間の模様をめいりょうにしたものであるが、第9図とともに上記のことがよく観察される。

4. 総 括

以上数個のD型試験機、およびかたさ、材質の種々異なった多くの試料を用いて行った実験の結果、試料面の傾斜がショアかたさ測定値に及ぼす影響の模様を明らかにした。すなわち、

(1) 全般的傾向として、試験機の種類、試料の相異にかかわらず、試料面の傾斜の及ぼす影響は同様であり、大別して三つの特色ある区間に分けられる。

(2) その第一は、試料面の傾斜角のきわめて小さいところにおける、きわめてせまい範囲であるが、いちおうこの影響を無視しうる水平直線区間であり、第二は続くかなり広い範囲であって、試料面の傾斜角に

従って一定の割合でかたさ数の低下を示す傾斜直線区間、また第三は指示かたさ数にきわめて大きいばらつきを示しながらも、ほぼ水平な直線的傾向を示す最後の区間である。

(3) 以上の影響を示す曲線の傾向は、試料のかたさおよび試験機の構造、寸法、工作程度などによってそれぞれ異なってくる。

(4) 上記(2)に述べた第一の水平直線区間は、いずれの場合においても最大約1°20'までであったが、それぞれの試験機ごとにほぼ一定値をとるものと思われる。

(5) 第二の傾斜直線区間における、直線の傾斜(かたさ数降下率)は試料のかたさに応じて大となり、両者の間には試験機ごとにほぼ完全な直線的関係が存在する。

(6) 前報の試験機の傾斜が及ぼす影響に比較して試料面の傾斜が及ぼす影響の程度ははるかにはげしいことがわかった。

(7) したがって、実際の測定にあたっては、測定筒の軸と試料測定表面とが正しく直角に保持されるよう、十分注意することが必要である。

終りに、本報の実験に終始協力された板垣三郎君に深甚の謝意を表す。

文 献

- (1) 筆者, 機械学会論文集, 19巻 87号, 1ページ(昭28).
- (2) 筆者, 機械学会論文集, 20巻 91号, 136ページ(昭29-3).
- (3) 筆者, 機械学会論文集, 20巻 95号, 424ページ(昭29-7).
- (4) 筆者, 機械学会論文集, 20巻 99号, 733ページ(昭29-11).
- (5) 筆者, 機械学会論文集, 23巻 127号, 230ページ(昭32-3).
- (6) 筆者, 機械学会論文集, 23巻 131号, 497ページ(昭32-7).
- (7) 筆者, 機械学会論文集, 23巻 131号, 504ページ(昭32-7).
- (8) J.N. Greenwood, *Metal Industry*, Vol. 12, No. 22, p. 12(1918).
- (9) たとえば, 三繩, 「試験及び測定機器」, 山海堂版, 120ページ(昭17). 山田, 「材料試験法」, 内田老鶴園版, 194ページ(昭13). 石田, 「実験機械工学」, 工業図書版, 95ページ(昭12). 清水, 「金属材料実験法」, 共立社版, 215ページ(昭21). 吉沢他9名, 「機械材料の試験と検査」, 機械学会版, 118ページ(昭31).
- (10) 吉沢, 機械学会誌, 54巻 392号, 365ページ(昭26-9).
- (11) 吉沢, 機械学会論文集, 21巻 103号, 243ページ(昭30-3).