

# 109 衝突式夕目的硬さ試験機の基礎的研究 (市販の軟質鋼・非鉄金属試料に関する検討)

正 石 橋 達 弥 (新学大)      正 下 田 茂 (新学大)

## 1. 緒 言

これ迄に用いた金属は主にツア用硬さ基準片であつたが、Hvが300位より低、鉄鋼・ステンレス・アルミ・黄銅等も実際には多用されている。そこで本報告では、軟質鋼・非鉄金属の市販棒材を対象に、衝突時の力学的諸量の関係を探り、式の整理統合を図ると共に、式が有効に使へる点も検討した。また、これらの試料の動的硬さ数とHvの関係も基礎として、鉄鋼・非鉄の2本の換算式を設定した。

## 2. 記 号

$w, h_{oa}, h_{ra}, D (=2R)$ : 圧子重量, 落高, 跳高, 先端球直径(半径)  $L_o, L_s, d_o, d_s, E_o$ : 先端球保持軸の有効長(外内) 直径(外, 内), ヤング率  $d_p, d_r, R_p (=D_p/2)$ : 永久くぼみの弦直径, 深さ, 曲率半径  $E_i, E_s, \mu_i, \mu_s$ : 球と試料のヤング率, ポアソン比  $f(E)_{is} = (1-\mu_i^2)/E_i + (1-\mu_s^2)/E_s$ : 圧子(球)と試料の弾性係数  $F_m$ : 最大衝突力  $h_k$ : 保持軸の野上からの弾性変位に於ける圧子跳高相当分  $H_a = h_{ra}/h_{oa}$ : 反発率  $H_t = (h_{ra} - h_k)/(h_{oa} - h_k)$ : 球と平面との間の反発率  $P_m = 4F_m/\pi d_p^2$ : 平均接触圧力  $P_e$ : 動的硬さ数(塑性接触から弾性接触移行時の平均接触圧力)  $\gamma (0.2)$ : 試料の降伏点(面す力)  $H_v, H_s$ : ビッカース, ツア硬さ

## 3. 圧子・試料および実験について

3.1 圧子 超硬合金球と先端に保持する3種の圧子を表1右上に示す。先端球保持軸の構造は、中空・中空の2型式であり、その $h_k$ は次式の通りである。

$$h_k = 2L_o F_m^2 [1 - (L_s/L_o) + (L_s/L_o) \{1 - (d_s/d_o)^2\}] / \pi d_o^2 E_o w \quad (3.1.1)$$

3.2 試料 表1に10種類の試料とその機械的性質を示す。HS21, PC(S)を除く、SS41, S45Cはφ65他はφ50の市販棒材より厚さ約1.5cmの試料を作成した。図1(a)は、試料の半径方向の均質性判定のためのHv測定値を示してあるが、SUS, HB, FBは場所による違いが顕著である。そのため、図中に示すImpact zoneと記してある同心円上に衝突位置を限定して実験を行なった。図1(b)は、試料の応力～歪線図であり、歪の測定は歪ゲージに依つて。

用いた試料の寸法は、棒材の長さ方向に図中の番号位置に於て切り出した約1cm角長さ3cmのものである。硬さ基準片のHS21, PC(S)は衝突面に直角方向に切り出した試料を用いた。

3.3 実験等について 装置は単振子衝突方式のもので、落高は約2cmから0.125cm迄の5段階とした。試料面上の永久くぼみの観測には工具顕微鏡を用い、 $d_p, d_r$ は試料面を基準として測定した。HB, SUSはくぼみの縁の盛り上がりやすく、特にPC(S)はくぼみ周囲の沈み込みで測定不可能であつた。くぼみの形状は軟質試料ほど<sup>(1)</sup>いびつであり、 $h_{oa}$ が小さいほどその<sup>(1)</sup>いびつさの度合が増し、円形から逸脱するのが観測された。

## 4. 実験結果 および考察

4.1  $Co \sim H_t$  先端球と試料の衝突後半に於ける弾性回復時の次式<sup>(4)(5)</sup>による結果を図2に示す。過去に得

Identifier	W kg	D mm	L <sub>o</sub> mm	L <sub>s</sub> mm	d <sub>o</sub> mm	d <sub>s</sub> mm	E <sub>o</sub> 10 <sup>10</sup> N/m <sup>2</sup>	E <sub>i</sub> N/m <sup>2</sup>
SS2	3651	0.2	285	235	193	1708	215	6.2
NS53	3640.3	0.2	286	240	192.5	174.0	—	—
BS5	3641.0	0.5	276	—	—	—	0.98	—

Metal	Experi- mental yield point N/mm <sup>2</sup>	JIS Symbol	E <sub>s</sub> N/mm <sup>2</sup>	μ <sub>i</sub>	f(E) 10 <sup>10</sup>	Y(0.2) N/mm <sup>2</sup>	Hv Impact zone
Pure Aluminium	PA	A1050	0.67	32	1.50	11	35 <sub>2</sub>
Aluminium Alloy	AA	A2017	0.76	—	1.33	35	128
Free Cutting Brass	FB	C3604	—	33	—	27	115
High Tension Brass	HB	C6763	1.01	—	1.04	25	135
Stainless Steel	SUS	SUS304	2.01	—	0.61	28	172
Steel Sheet for Electric Transformer	SS41	S541	2.15	—	0.58	48	184
Carbon Steel for Electric Transformer Use	S45C	S45C	2.10	29	0.59	38	236
The Standard Plate for Structural Horizontal (Sph) The Standard Plate for Structural Vertical (Sphv)	HS21	S206	2.15	—	0.58	30	137
Flow Copper	PC(S)	H3108	1.21	34	0.89	4	40 <sub>2</sub>
Flow Copper	PC	—	1.17	—	0.92	—	85

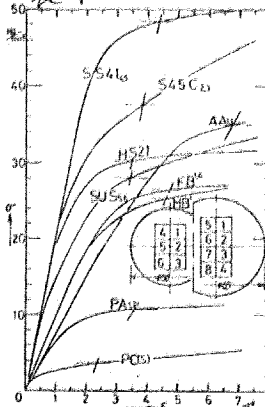
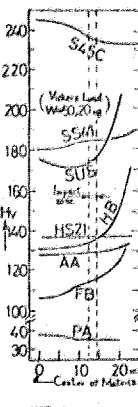


図1(a)

図1(b)

$$C_0 = \frac{w(hr_a - h_k + \delta_p)}{f(E)_{is} F_m^2 / d_p} \quad (4.1.1) \quad \text{うめた値 } C_0 = 0.6 \text{ よりたいび}$$

しかし、一応 PA を除けば  $h_k$  を考慮することにより、 $C_0$  は定数とみなし得る。① SS2 圧子による値が全般的にズレている。②  $H_t$  が低いほど  $C_0$  が 0.6 より高くなってゆく傾向が見られるが、BS5 圧子では  $h_{0.2}$  の全範囲で、PA でも 10% 位の範囲に収まっている。この二点を挙げ得る。この原因としては、(i) 式 (4.1.1) は凹球面と球面との弾性接触時に、接触する部分は母体に対して微小であるという前提<sup>(5)</sup>に、それと違っていること。つまり、先端球径がいさく試料が軟質であるほど衝突時の接触部分が大きくなっていく点である。しかし、PA では  $H_t$  が大ほど接触部が小さいほど  $C_0$  の値のズレが大きい (SS2, NSS3 圧子) ことから、上述の原因のみでなく、(ii)  $H_t$  が大ほど ( $h_{0.2}$  が小ほど) 試料の非均質性に依るくぼみの「いびつさ」の度合が相対的に増し (顕微鏡観察から) 前提とする凹球面から遠ざかる点も考えられる。この原因が SS2 圧子として PA においての  $C_0$  の極端なズレの理由であることと考へると、軟質材料に対する圧子の選択に配慮が必要となる。

4.2  $A_t \sim H_t$  図3の  $A_t \sim H_t$  の関係は前報<sup>(3)</sup>では2本の曲線であったが、本報では  $H_t$  の全範囲を通じて1本の曲線で近似する方法で処理した。図3の左下の図に示す関係からすれば、 $A_t$  は  $H_t$  の  $H_t$  による指数関数として表現し得る。このため、 $A_t \sim H_t$  を次式のように与える。

$$A_t = \frac{d_p}{[15w(h_{0.2} - h_k) D^2 f(E)_{is}]^{0.2}} = H_t^{0.265 \sin[\frac{\pi}{2} \frac{H_t - 1}{0.725}]} \quad (4.2.1)$$

4.3  $f(E)_{cal.}$  の式 式 (4.1.1) と  $C_0 = 0.6$  と式 (4.2.1) とから、 $F_m$ ,  $h_{r_a}$  の2測定量による  $f(E)_{cal.}$  の式 (4.3.1) が得られる。この式に  $f(E)_{cal.} = 3.73 [w^{1.2} (h_{0.2} - h_k)^{0.2} (h_{r_a} - h_k + \delta_p) D^{0.4} A_t / F_m^2]^{1.25}$  (4.3.1) 既知の圧子条件と測定量  $F_m$ ,  $h_{r_a}$  を代入して得た値を図4に示す。図中の破線 (f) は表1に示す値である。表2には、 $1 - \mu^2 = 0.9$  とし  $f(E)_{cal.}$  より試料のヤング率を算出した値:  $E_{s, cal.}$  と  $E_s$  と対比にある。これからみると、先端球径の大なる圧子ほど、総体的に良好な値を示しており、軟質金属には圧子の先端球径が大きいものほど好ましいものと考えられる。

4.4  $H_t \sim P_m$  図5の横軸は対数座標としてある。図中の実線と二点鎖線は、前報<sup>(3)</sup>の破き基準片で得られた関係である。S45C, SS41 は大体その値と同じであるが、SUS, HB はかなり異なっている。図1(a)から S45C, SS41 は均質に近い試料と見えたため、基準片で得た結果が得られたと理解できる。SUS,

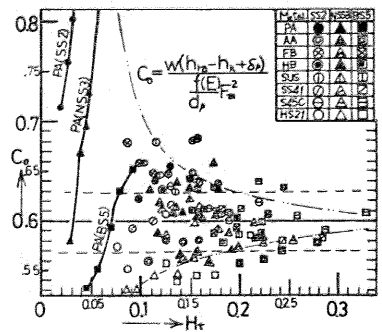


図2

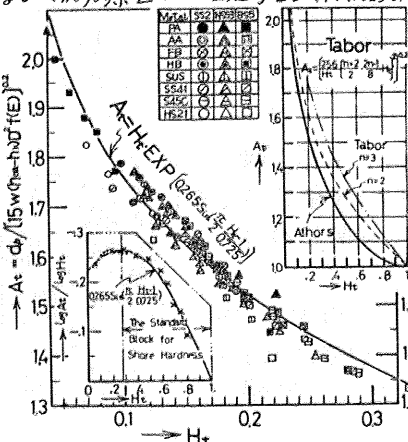


図3

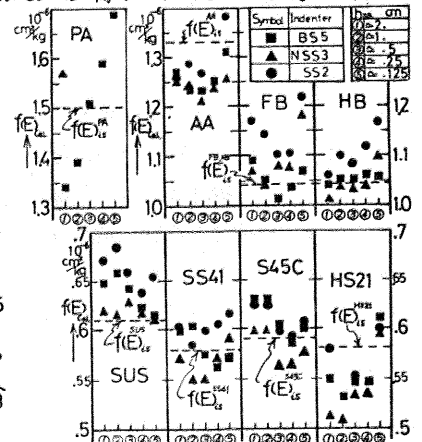


図4

Material	PA	AA	FB	HB	SUS	SS41	S45C	SS2	POSS
$E_s$ (GPa)	0.67	0.76	1.01	1.01	2.01	2.15	2.10	2.15	1.21
$E_s$ (GPa)	0.40	0.81	0.91	0.95	1.78	2.01	1.98	2.15	
$E_s$ (GPa)	0.51	0.83	0.96	1.01	1.93	2.19	2.12	2.36	
$E_s$ (GPa)	0.67	0.82	1.00	1.00	1.86	2.10	1.97	2.23	0.88

表2

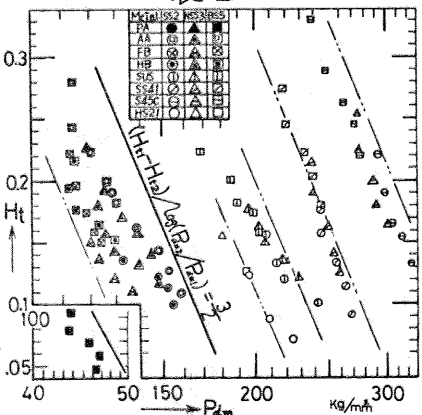


図5

HBは僅かな場所の違いによる極端な不均値さという点から異なる値を有するものと解釈される。SS2圧子によるデータはAAから除外してみよと、AAでの値は3/2に近くなることから、均値に近いとみられるAAでも、先端球径の大小により、くぼみが生じるとき周囲へ及ぼす程度の違いが平均接触圧力に影響しているものと思われる。

以上の点から、軟質材料であつても均値であつては基準片と同じ $H_t \sim P_{dm}$ の関係を

有するものと考へてよく前報<sup>(3)</sup>と同じ $H_t \sim P_{dm}$ ,  $P_e$ の式を示す。  $P_e$ は式(4.4.1)で  

$$(H_{t1} - H_{t2}) / \log(P_{dm2} / P_{dm1}) = 3/2 \quad (4.4.1) \quad H_{t1} \Rightarrow 1, P_{dm1} \Rightarrow P_e$$

$$P_e = P_{dm} \cdot 10^{\frac{2}{3}(H_t - 1)} \quad (4.4.2) \quad \text{とおいて得らる。$$

4.5  $P_e \sim H_v$  両対数座標上に $H_v$ ,  $P_e$ を示したのが図6である。 $H_v \sim P_e$ は上にゆるやかな凸の曲線の関係とみられ、HS21, AA, HBの部分と考へると、不連続とみなければならぬ。  $H_v$ の時と同じく、 $P_e$ も $F_m$ ,  $h_{ra}$ の2測定量を表わし得るから、 $P_e$ と $H_v$ の換算式を定めれば $P_e$ から直ちに $H_v$ を得ることができるとなる。そこで、一つの方法として、鉄鋼と非鉄に於ける2本の曲線を整理することにする。この際、SUS, HBは図6の曲線よりかなりへだたる感じがするが、 $H_v$ 圧痕の観察からすれば、両材料ともその圧痕が星型を呈しているため、除荷後の弾性回復が大なるものと思われ、 $P_e$ は低いのに $H_v$ は高く出たためと解釈される。これらの点で考慮した上で図中の2本の曲線を設定し、

$$(i) \quad H_v = 13.5 [\log P_e]^{4.3} \quad < \text{Steel} > \quad (4.5.1)$$

$$(ii) \quad H_v = 4.65 P_e^{0.9} \quad < \text{Non Steel} > \quad (4.5.2)$$

4.6  $P_e \sim Y(\sigma_z)$  図7の全般的傾向としては、 $P_e$ が大なる $Y$ が大であるが個々ではばらつきが認められることから、むしろ、 $P_e$ と試料の引張強さといふ点について今後検討すべきものと考へらる。

## 5. 結 論

以上の結果を総合すると次に示すようにまとめることができる。

- (1) 多く使われている軟質鋼、非鉄金属の市販棒材から採取した試料を対象とし、ヤング率等を歪ゲージを用いて測定した。試料の横断面上の $H_v$ 測定からすると、場所による不均値が顕著なものがあった。
- (2) これらの試料に対する衝突時の力学的諸量の関係を検討した所、先端球と試料の接触部の弾性回復時の関係式による値は、予想された値の10%位の範囲にあり、定数と考へてよいことが分った。同時に $H_t$ の全範囲に適用できる $A_t$ の式を設定した。全般的には先端球直径が小さいほど式(4.1.1)の仮定から遠ざかる点と共に、特にPAでは衝突エネルギーが1となることにより、くぼみか凹球面より逸脱することが観測される点から、軟質金属に対する圧子としては先端球直径が大きいのが望ましい。
- (3)  $H_t \sim P_{dm}$ の関係は、軟質金属であつても均値であつては硬質基準片と同じ関係を用いてもよいと考へらる。
- (4) 各試料の $P_e$ から $H_v$ を算出するための換算式としては、鉄鋼・非鉄の2本に分けて設定することにした。
- (5)  $P_e \sim Y(\sigma_z)$ の関係は、総体的には比例の傾向を示すが、個々の点で逆逆のある場合が数々見られる。 $P_e$ と $H_v$ の関係から推察すると、むしろ、 $P_e$ とより良い比例関係を有する試料の機械的性質としては引張強さ、という点も考へられ、この点については今後検討したい。
- (6) 極く軟質から極く硬質金属までも含めて、本報述に得られた式を用い、適正な圧子条件の元では、衝突時の $F_m$ ,  $h_{ra}$ の2測定量により試料のヤング率は歪ゲージ等を用いて測定する値のおよそ5%内程度の精度で迅速に得ることができるとなる。また、 $P_e$ からの換算 $H_v$ も同様と得ることができるとなる。

## 参 考 文 献

- (1) 石橋下田, 機講論集, NO.782-1, 42 (1978 室蘭)
- (2) 石橋下田, 機講論集, No.797-1, 4 (1979 福井)
- (3) 石橋下田, 機講論集, No.797-2, 61 (1979 岡谷)
- (4) Tabor, D., The Hardness of Metals, Oxford, 1951
- (5) Goldsmith, IMPACT, Arnold, 1960
- (6) 吉沢編, 硬質試験法とその応用, 裳華房