

Evaluation Method of the Material Characteristics by Indentation Hardness Test with Truncated Conical Indenter

工学 横木 雄太 (新潟大院)      正 石橋 達弥 (新潟大)  
 正 大木 基史 (新潟大)      正 大野 裕久 (新潟大院)  
 櫻井 創 (新潟大院)      学 吉田 武文 (新潟大院)

Yuta YOKOGI, Tatsuya ISHIRASHI, Motofumi OHKI, Hirohisa AMANO, Takefumi KITIKAWA: Graduate School & Faculty of Engineering, Niigata University, Ikarashi 2-no-cho 8050, Niigata, 950-2181 JAPAN

Key Words: Instrumented Universal Hardness Tester, Conical Indenter, Young's Modulus

1. 諸言

ISO14577では押し込み硬さ試験方式による荷重-変位線図に基づく材料特性値の算出について示している。本研究では、石橋らが提案している球圧子の押し込み理論に基づいた角錐圧子の押し込み理論<sup>1)</sup>およびAmano et al.の理論<sup>2)</sup>を用い、先端に丸味を有する円錐圧子に対して拡大縮小を試みながら能引張試験機を計装化した一段階押し込み試験機による実験を行い、これまでの金属試験片に加え、ガラス、高分子材料に対するヤング率算出理論式の有用性を検討する。

2. 実験

2.1 試験機と圧子

本報の実験では試験機として島津製作所製万能材料試験機 AGS-10kNG を使用した。従来のロックアップ試験機が知覚できなかった負荷時と除荷時の手動による操作による問題を改善し、一段階での押し込みを可能とした変位測定装置と力センサを組み合わせた荷重測定装置として新設計型の「1」型を装備している。これらから得られるデータをADコンバータを通じてパソコンに取り込むことにより、荷重-変位線図を得ることができる。

圧子には先端半径  $R=193\mu\text{m}$ 、圧子先端角  $\theta_{tip}=119.92^\circ$  の「クワ」型ダイヤモンド円錐圧子を用いた。

Fig.1 に計装化部を示す。

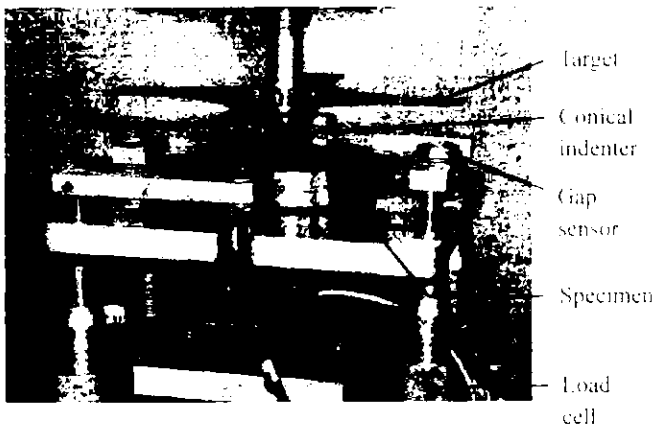


Fig.1 Measuring part and Conical Indenter

2.2 試験片および試験荷重

試験片として合金工具鋼硬さ基準片<sup>3)</sup> HRC60、30-N60、

黄銅材<sup>4)</sup>硬さ基準片<sup>5)</sup> HRB72、非線形弾性のあるガラス<sup>6)</sup>、ポリウレタン<sup>7)</sup>、タフネス樹脂 BK-7、および高分子材料<sup>8)</sup>であるアクリル樹脂を使用し、試験荷重は、49N、147N、294N の3種類を用い、試験温度 23°C で各5回ずつ試験を行った。

3. ヤング率算出理論式

3.1 荷重-変位線図

Fig.2 に、実験により得られる一般的な荷重-変位線図の模式図を示す。

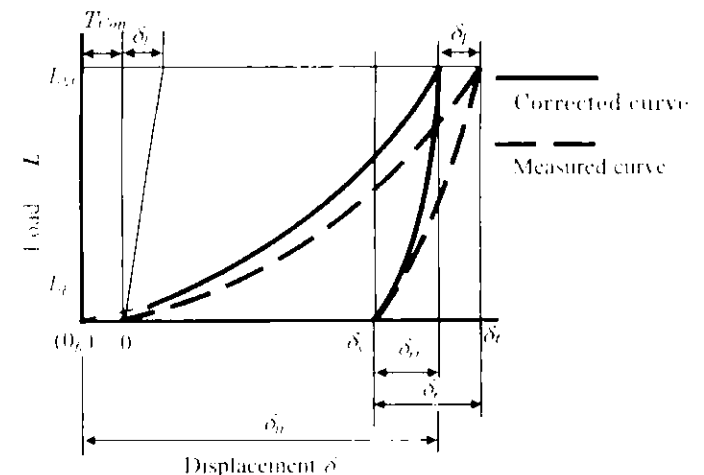


Fig.2 Relationships between load and displacements

図中の破線部分が縦軸は実験で得られる荷重-変位線図であり、実線部分が縦軸は試験機の変位変形量、横軸は「クワ」型ダイヤモンド圧子による荷重-変位線図である。

- $L_0$ : 試験荷重
- $\delta_0$ : 圧子の全曲げ変形量、 $\delta_0 = L_0 / E$  (圧子荷重)
- $\delta_1$ : 試験機の変位変形量
- $\delta_2 = \delta_0 + \delta_1$ : 種別変形した圧子の曲げ変形量
- $\delta_3 = \delta_0 + \delta_1 + \delta_2$ : 種別変形した圧子荷重
- $L_1$ : 圧子先端半径  $R$  の場合  $R = 193\mu\text{m}$

3.2 ヤング率算出理論式

Amano et al.<sup>2)</sup>が提案した先端に丸味を有する円錐圧子を用いた押し込み試験の試験荷重-変位線図を算出する式<sup>2)</sup>は、式(1)と式(2)である。

$$E_S = (1 - \mu_S^2) \left/ \left[ \frac{4}{3} \tan\left(\frac{\beta_{Con}}{2}\right) \frac{(\delta_l - \delta_E + T_{con})(\delta_r - \delta_E)}{L_M} - I(E) \right] \right.$$

$$\delta_E = C \cdot L_M$$

ここで、

$\beta_{Con}$ : 圧子の先端角 (=119.92°)

$\mu_S$ : 試験片のポアソン比 (( $1 - \mu_S^2 \approx 0.9$  と与える)

$E_l, \mu_l$ : 圧子のヤング率, ポアソン比

$I(E)$ : 圧子の弾性パラメータ ( $= \frac{1 - \mu_l^2}{E_l} = 0.878 \times 10^{-3} \text{ GPa}^{-1}$ )

$C$ : 圧子保持軸部のばね定数

#### 4. 実験結果

##### 4.1 圧子保持軸部のばね定数 $C$ の決定

Fig.3 に較正用試験片 HRC60 への試験荷重  $L_M = 49, 147, 294 \text{ [N]}$  による試験により得られた荷重-変位線図を示す。

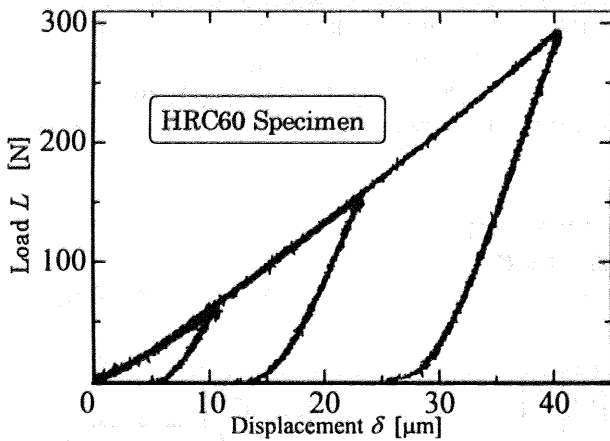


Fig.3 Relationships between load and displacements for HRC60

ばね定数  $C$  は Amano et al.による算出式<sup>9)</sup>を用いて求めると、HRC60 試験片において  $L_M = 294 \text{ N}$  で測定された  $\delta_l, \delta_r$  により  $C = 1.19 \times 10^{-5} \text{ [mm/N]}$  と決定された。

##### 4.2 ヤング率の算出結果および荷重-変位線図

Fig.4、Fig.5 に実際に得られた BK-7、アクリル樹脂の荷重-変位線図の例を示す。また Table 1 に各荷重における試験片の測定値とヤング率の算出結果および文献値のヤング率を示す。

荷重-変位線図より、BK-7 やアクリル樹脂は金属材料に比べ非常に高弾性であることがわかる。

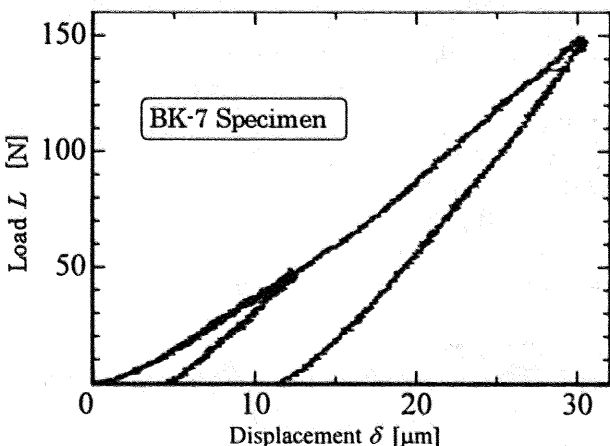


Fig.4 Relationships between load and displacements for BK-7

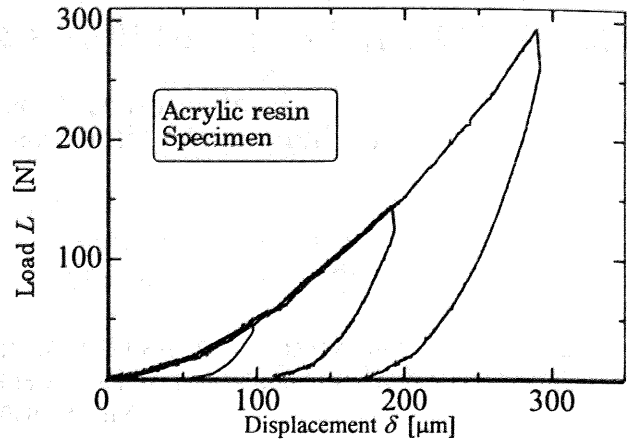


Fig.5 Relationships between load and displacements for Acrylic resin

Table 1 Calculated Young's modulus for the arbitrary specimens

Specimen	Load [N]	$\delta_l$ [ $\mu\text{m}$ ]	$\delta_r$ [ $\mu\text{m}$ ]	Calculated value [GPa]	Supposed value [GPa]
HRC60	49	10.9	4.25	181.1	
Alloy tool steel	147	24.3	8.34	194.6	210
	294	40.6	13.33	209.6	
30-N60	49	10.5	3.40	220.8	
Alloy tool steel	147	27.6	7.12	221.7	210
	294	45.8	9.06	331.7	
HRB72	49	41.1	3.86	93.3	
Cu-Zn alloy	147	75.8	7.13	103.9	98
	294	116.1	10.60	122.1	
Aluminum	49	39.9	4.71	77.5	
alloy	147	75.5	8.71	81.1	72
	294	120.6	13.60	76.5	
Tough pitch	49	39.3	2.85	127.1	
Copper	147	95.7	5.71	116.5	123
	294	160.3	9.05	101.2	
BK-7	49	11.9	9.00	55.6	
Glass	147	30.0	18.60	59.1	79
	294	59.6	37.63	4.1	3~3.3
Acrylic resin	147	191.9	77.76	3.4	
	294	289.7	117.9	3.1	(3.13)*

\* Inside of parenthesis shows result of compression test with strain gage

#### 5. 結言

- (1) 計装化した島津製作所製万能材料試験機を用いて、各種材料に対する押込み試験を行った。
- (2) Amano et al.の提案する圧子保持軸部のばね定数、トランケーションを考慮したヤング率の算出を行い、文献値との比較を行ったところ、ガラス試験片を除きほぼ近い値が得られた。
- (3) 今後は、ガラス試験片等に対するヤング率算出理論式の検討を行う。

本研究を行うに当たり、実験などに協力いただいた学部4年生の櫻井正義君、鈴木隆之君に感謝申し上げます。

#### <参考文献>

- 1) 石橋ら, 材料試験技術, Vol.44, No.3, 1999年7月
- 2) Amano et al., J. Mater. Test. Res., Vol.47, No.3, July 2002
- 3) (株) 山本科学工具研究社・文献集「硬さ基準片について」