

406 先端部に丸味を有する円錐圧子による材料特性評価法

Evaluation Method of the Material Characteristics with the Truncated Conical Indenter

○学 櫻井 創 (新潟大院)
正 天野 裕久 (新潟大院)
正 大木 基史 (新潟大)

正 石橋 達弥 (新潟大)
正 藤塚 将行 (新潟大院)
学 横木 雄太 (新潟大院)

Hajime SAKURAI, Tatsuya ISHIBASHI, Hirohisa AMANO, Masayuki FUJITSUKA,
Motofumi OHKI, Yuta YOKOGI: Faculty of Engineering, Niigata University, Ikarashi 2-no-cho 8050,
Niigata, 950-21 JAPAN

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

1 諸言

ロックウェル硬さ試験は、簡便・迅速という利点を持ち、工業界で広く利用されている試験方式のひとつである。

近年、ISO では硬さ試験方式による荷重-変位線図から材料特性値の算出を試みている。

そこで本報では、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¹⁾を、先端部に丸みを有する円錐圧子の荷重押し込み域に対して拡大適用を試みた。数種類の金属材料に対する実験を行い、ヤング率算出理論式の結果を用いて、その有用性を検討した。

2 実験

2.1 試験機と圧子

本報の試験では、硬さ試験機として島津製作所製ロックウェル硬度計 (DXT-3) を使用し、変位測定機としてリニアセンサ、荷重測定機としてめがね型ロードセルを装備している。これらから得られるデータを A/D ボードを介し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 0.193mm、圧子先端角 $\beta_{Con}=119.5^\circ$ のロックウェルダイヤモンド円錐圧子を用いた。

Fig.1 に計装化部の略図を示す。

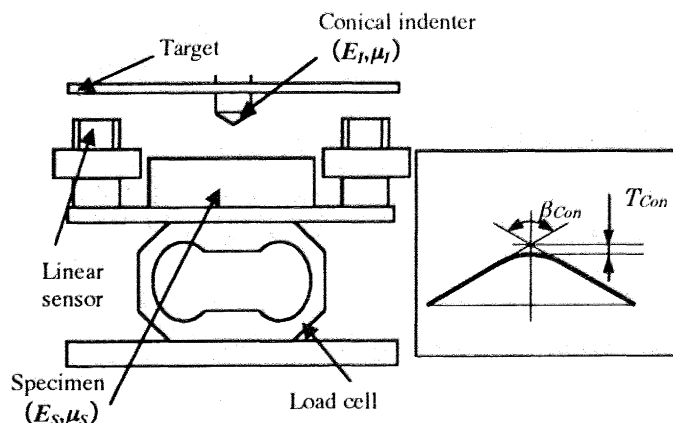


Fig.1 Schematic measuring part and Conical Indenter

2.2 試験片および試験荷重

試験片は、硬さ基準片²⁾の HRC60 (SKS3)、HRB72 (C2600P)、HV300 (SKS3)、非鉄金属であるアルミニウム合金 (A2014) を使用した。また校正用の試験片として硬さ基準片の HV500 (SKS3) を用いる。

試験荷重は、147N, 294N, 441N, 588N, 980N, 1470N の 6 種類を用い、各 5 回ずつの試験を行った。

3. 理論

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。図中の L_M は試験荷重、 L_P は基準荷重である。

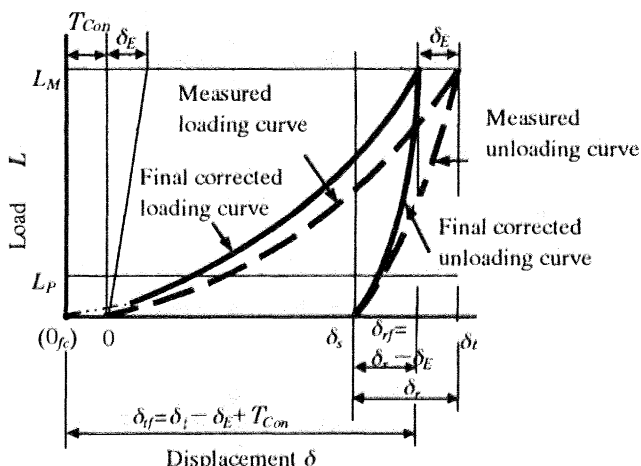


Fig.2 Relationships between load and displacements

Fig.2 に示すように、圧子と試験片の接触時には圧子保持軸部の弾性変形量 δ_E が生じる。また、ヤング率算出式には、理想的な円錐圧子を用いているが、実際の圧子は先端部に丸みを有している。このため、ヤング率の算出にはこれらを考慮に入れた補正後の全押し込み量 $\delta_f = \delta_s + \delta_e + T_{Con}$ 、弾性回復量 $\delta_r = \delta_s - \delta_e$ 、圧子先端の丸み T_{Con} を用いる。

図中の破線で示す線図は、実験で得られる荷重-変位線図であり、実線で示す線図がこれらを考慮した荷重-変位線図である。

3.2 ヤング率算出式

天野らの提案している先端に丸みを有する円錐圧子を用いた押し込み試験から試験片のヤング率 E_S を算出する式³⁾は、次のようである。

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

$\delta_E = C \cdot L_M$

ここで、

δ_s : 圧子の全押し込み量, δ_r : 圧子の弾性回復量

δ_e : 試験機の弾性変形量, C : 圧子保持軸部のばね定数

$\delta_f = \delta_s + \delta_e + T_{Con}$: 真の圧子の全押し込み量

$\delta_r = \delta_s - \delta_e$: 真の圧子の弾性回復量

T_{Con} : 圧子先端のトランケーション ($=3.04 \times 10^{-2} \mu\text{m}$)
 β_{Con} : 圧子の先端角 ($=119.5^\circ$)
 μ_S : 試験片のポアソン比 ($\{1-\mu_S\} \approx 0.9$ と与える)
 $I(E)$: 圧子の弾性パラメータ ($= \frac{1-\mu_I}{E_I} = 0.86 \times 10^{-5} \text{GPa}^{-1}$)
 μ_I, E_I : 圧子のポアソン比, 圧子のヤング率

4. 実験結果

4.1 圧子保持軸部のばね定数 C の決定

Fig.3 に例として較正用の試験片 HV500 への試験荷重 $L_M=588, 980, 1470[\text{N}]$ の実験で得られた荷重-変位線図を示す。図中の L_p は基準荷重で $98[\text{N}]$ である。

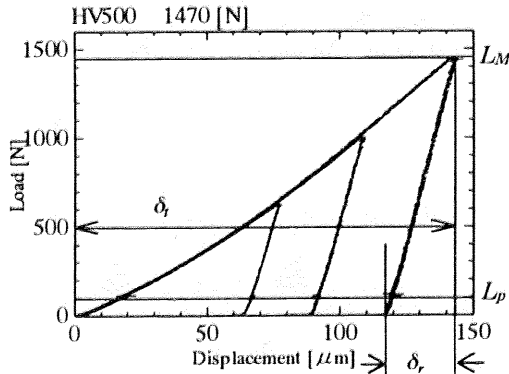


Fig.3 Relationships between load and displacements for HV500

測定された δ_t, δ_r により、ばね定数 C は、以下の三次式より求められる。

$$C^2 + a_Q \cdot C + b_Q = 0$$

ここで、 a_Q と b_Q は次の通りである。

$$a_Q = -(\delta_t + \delta_r + T_{Con}) / L_M$$

$$b_Q = \left\{ (\delta_t + T_{Con}) \cdot \delta_r - \left(\frac{3\sqrt{\pi}}{4} \right) \frac{F(E)_{IS} \cdot L_M}{k_{0(Con)}} \right\} / L_M^2$$

$$k_{0(Con)} = \pi^{\frac{1}{2}} \cdot \tan\left(\frac{\beta_{Con}}{2} \cdot \frac{\pi}{180}\right)$$

$F(E)_{IS}$: 圧子と試験片の弾性パラメータ

$$\left(= \frac{1-\mu_I}{E_I} + \frac{1-\mu_S}{E_S} \right)$$

$$\text{したがって、} C = \frac{1}{2} \left\{ -a_Q - \sqrt{a_Q^2 - 4 \cdot b_Q} \right\}$$

本圧子条件では、 $C = 4.14 \times 10^6 [\text{mm/N}]$ と決定された。

4.2 ヤング率の算出結果

Table1 に試験片の各荷重におけるヤング率の算出結果および文献値のヤング率を示す。

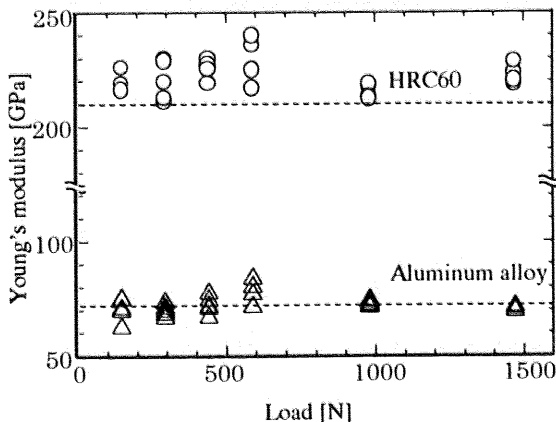


Fig.4 Young's modulus calculated for the Specimen HRC60 and Al alloy

また、Fig.4 に HRC60、アルミニウム合金のヤング率を示す。ここで、図中の破線はヤング率の文献値を示す。

Table1 Calculated Young's modulus for the arbitrary specimens

Specimen	Load [N]	Calculated value [GPa]	Supposed value [GPa]
HRC60 Carbon steel 0.9~1.0%	147	221.7	210
	294	220.2	
	441	225.5	
	588	231.4	
	980	214.7	
HV300 Carbon steel 0.9~1.0%	1470	223.6	210
	147	212.6	
	294	222.2	
	441	255.3	
	588	224.7	
HRB72 Cu - Zn alloy	980	230.9	98
	1470	213.9	
	147	98.7	
	294	93.7	
	441	92.3	
Aluminum alloy	588	92.3	72
	980	100.6	
	1470	88.0	
	147	71.8	
	294	71.6	
	441	74.6	
	588	81.0	
	980	76.2	
	1470	74.5	

Table1 および Fig.4 より、ヤング率は各試験片において文献値と近い値が算出されていることが分る。しかし、本報で使用しているロックウェル試験機は、基準荷重の前後を手動で行うものである。それにより、除荷時および圧子が試験片表面から離れるときの挙動は不安定であり、除荷終了点の正確な特定を困難にしている。これらの改善として、基準荷重のない段階押込み、除荷速度の変更の可能な試験機の開発が必要である。

5. 結言

- (1) 計装化したロックウェル試験機を用いて、試験中の荷重-変位線図を得ることが可能である。石橋らの提案する球圧子の押込み理論を先端に丸みを有する円錐圧子へ拡大し、ヤング率算出理論式を示した。
- (2) 圧子保持具部のばね定数、トランケーションを考慮して、ヤング率を算出し、文献値との比較を行ったところ、かなり近い値を示した。これにより、ヤング率算出式の有用性を確認した。
- (3) 計装化ロックウェル試験機の問題点を確認し、今後改善を行う予定である。

本研究を行うに当たり、試験片作製等協力いただいた石橋研究室学部4年生の吉川武文君、竹石陽君に感謝し上げる。

<参考文献>

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