

Evaluation Method of Material Characteristics to Variety Materials
Using Hardness Test with Pyramidal Indenter

○学 澤井 啓太 (新潟大院) 正 石橋 達弥 (新潟大学)
正 大木 基史 (新潟大学) 正 藤塚 将行 (新潟大院)
— 岩田 哲也 (東北エプソン(株))

Keita SAWAI, Tatsuya ISHIBASHI, Motofumi OHKI, Masayuki FUJITSUKA;
Graduate School & Faculty of Engineering, Niigata University, Ikarashi 2-no-cho 8050, Niigata, 950-2181 JAPAN
Tetsuya IWATA; TOHOKU EPSON CORPORATION, Juuriduka 116-3, Sakata, 998-0194, JAPAN
Key Words: Pyramidal Indenter, Indentation Test, Young's Modulus of Variety Materials

1. 緒言

ISO14577-1 では、硬さ試験での荷重-変位線図に基づいた材料特性評価法が提案され、試験荷重が2N以上での試験をマクロ領域と規定している。同時に、工業界では広範囲な材料に対応した材料特性評価も重要である。本研究では、石橋らの提案するナノ、マイクロ領域での角錐圧子を用いた金属に対するヤング率算出理論¹⁾を基に、適用可能な材料を金属及び高弾性材料に拡張した Fujitsuka et al.の拡張理論²⁾について、マクロ領域での有用性の検討を行った。実験は、荷重、変位測定部を計装化した市販のピッカース硬さ試験機を用いて、金属及び高弾性材料に対して行い、ヤング率の算出を行った。

2. ヤング率算出理論式

角錐圧子による硬さ試験を利用した Fujitsuka et al.の理論²⁾から、ヤング率 E_S 算出式は(1)式で示される。

$$E_S = \left(1 - \mu_S^2\right) \left/ \left[\frac{8 \tan(\beta/2)}{3\sqrt{\pi}} \frac{(\delta_i - \delta_E)(\delta_r - \delta_E)}{L_M} \left[1 - x \frac{(\delta_r - \delta_E)}{(\delta_i - \delta_E)} \right] - I(E) \right] \right. \quad \dots (1)$$

- E_S : 試験片のヤング率, μ_S : 試験片のポアソン比
- $S(E)$: 試験片の弾性パラメータ $\left(= \frac{1 - \mu_S^2}{E_S} \right)$
- β : 圧子の対面角 ($= 136^\circ$)
- δ_i : 圧子押し込み量, δ_r : 圧子除荷量
- L_M : 試験荷重, δ_E : 試験機の弾性変形量
- x : 試験機校正係数
- E_I : 圧子のヤング率, μ_I : 圧子のポアソン比
- $I(E)$: 圧子の弾性パラメータ $\left(= \frac{1 - \mu_I^2}{E_I} = 0.878 \times 10^{-3} \text{ GPa}^{-1} \right)$

圧子と試験片の接触時には、試験機にも弾性変形が生じるため、荷重-変位線図から得られる圧子押し込み量 δ_i と圧子除荷量 δ_r においては、試験機の弾性変形量 δ_E を補正する必要がある。また、(1)式からヤング率を算出するためには、試験機校正係数 x を求める必要もある。

そこで、金属と高弾性材料の2種類を校正用試験片に使用して、それぞれ試験荷重 L_M と荷重-変位線図から得られる圧子押し込み量 δ_i 、圧子除荷量 δ_r から(2)式を用い、各試験荷重に関して Fig.1 に示す試験機の弾性変形量 δ_E と試験機校正係数 x の関係を得る。両試験片を満足する値を試験機の弾性変形量 δ_E 及び試験機校正係数 x とする。

$$x = \left[(\delta_i - \delta_E)(\delta_r - \delta_E) - \frac{3\sqrt{\pi} \cdot F(E)_{IS} \cdot L_M}{8 \tan(\beta/2)} \right] / (\delta_r - \delta_E)^2 \quad \dots (2)$$

$F(E)_{IS}$: 圧子と試験片の弾性パラメータ ($= S(E) + I(E)$)

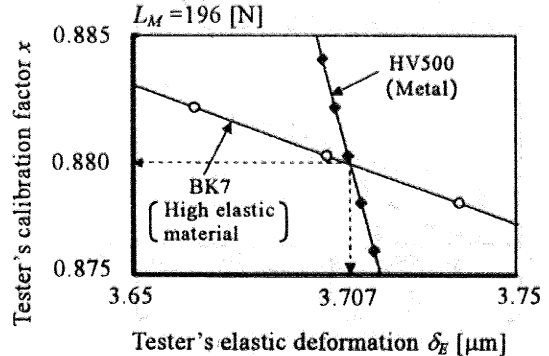


Fig.1 Relationship between tester's elastic deformation and tester's calibration factor for calibration specimens

3. 実験

3.1 試験機と圧子

アカシ製ピッカース硬さ試験機 (AVK-C1) に、変位測定器と荷重測定器を組込んで計装化して使用した。試験中の測定部からの荷重と変位のデータを A/D ボードを介してパソコンに取り組むことによって荷重-変位線図を得た。圧子はピッカース圧子である対面角 136° の正四角錐ダイヤモンド圧子を使用した。Fig.2 に荷重-変位測定部と圧子先端の模式図を示す。

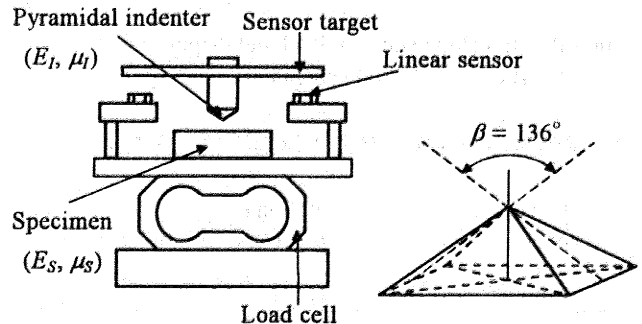


Fig.2 Schematic illustrations of load-displacement measuring part and tip of diamond pyramidal indenter

3.2 試験片

合金工具鋼硬さ基準片 HV700(SKS3)、黄銅硬さ基準片 HV100(C2600P)、銅硬さ基準片 HV40(C1020P)、アルミニウム合金(A2017)と高弾性材料としてポリカーボネートを使用した。校正用試験片として、合金工具鋼硬さ基準片 HV500(SKS3)と高弾性材料のガラス BK7 を使用した。

3.3 試験荷重、試験回数および試験温度

試験荷重 L_M は使用した試験機の高荷重域である 49N、

98N、196Nの3種類を使用した。また、試験温度23℃で、各試験片、各荷重において5回ずつ試験を行った。

4. 実験結果

4.1 荷重-変位線図

Fig.3に実験によって得られたBK7とHV100の荷重-変位線図を示す。この線図から圧子押し込み量 δ_i と圧子除荷量 δ_r を決定する。なお、図中のBK7のデータに試験荷重 L_M と試験機の弾性変形量 δ_E を例として示す。

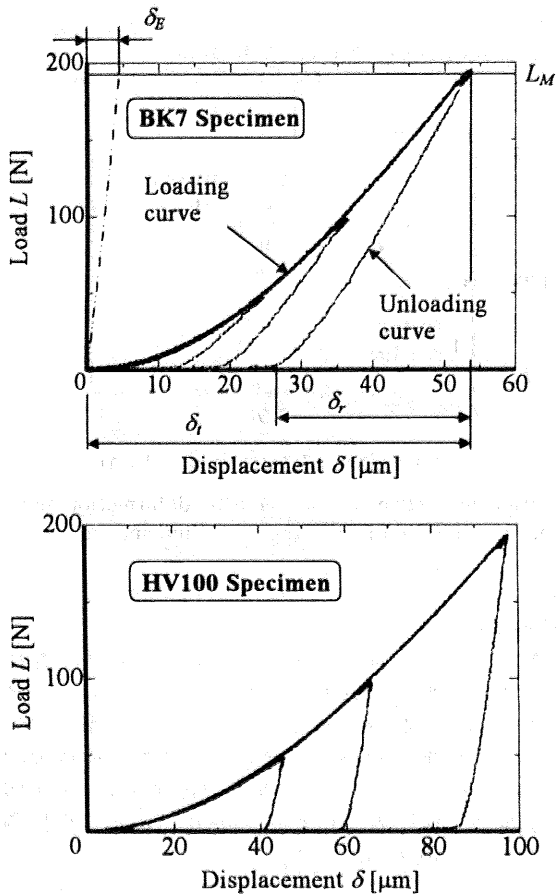


Fig.3 Relationships between load and displacement for BK7 and HV100 specimens

4.2 試験機の弾性変形量 δ_E と試験機校正係数 x

Table 1 Average value of indentation depth δ_i , elastic recovery δ_r , and ratio of δ_r/δ_i for calibration specimens

Specimen	L_M [N]	δ_i [μm]	δ_r [μm]	δ_r/δ_i
HV500 (SKS3)	49	21.46	4.94	0.230
	98	31.17	7.47	0.240
	196	45.77	11.50	0.251
BK7	49	25.20	12.94	0.513
	98	36.87	18.54	0.503
	196	53.17	27.15	0.511

Table 2 Calculated values of tester's elastic deformation δ_E and tester's calibration factor x

L_M [N]	δ_E [μm]	x
49	0.918	0.871
98	1.835	0.884
196	3.707	0.880

HV500とBK7の両校正用試験片に対する実験から得られた圧子押し込み量 δ_i と圧子除荷量 δ_r を荷重ごとに平均したもの、及び圧子押し込み量 δ_i と圧子除荷量 δ_r の比 δ_r/δ_i をTable 1に示す。また、試験機の弾性変形量 δ_E と試験機校正係数 x をTable 2に示す。

4.3 ヤング率算出値

本実験で使用した試験片について、算出したヤング率 E_s を荷重ごとに平均し、Table 3に文献値³⁾と共に示す。これらの結果より、銅硬さ基準片HV40以外は文献値とほぼ良い一致を示している。銅は10%程度の加工度でヤング率が低下する傾向があり、一方、ピッカース圧子での押し込みによって生じるくぼみ周辺の平均ひずみ(加工度)は、8%程度とみなされる。このため算出ヤング率が文献値と比較して低い値をとったものと考えられる。

Table 3 Calculated Young's modulus E_s for specimens

Specimen	L_M [N]	δ_i [mm]	δ_r [mm]	E_s [GPa]	Supposed value [GPa]
HV700 (SKS3)	49	19.1	5.6	220.0	210
	98	28.6	8.1	217.1	
	196	41.6	12.6	214.4	
HV100 (C2600P)	49	46.2	4.2	91.8	98
	98	65.1	6.6	92.2	
	196	95.0	10.5	88.6	
HV40 (C1020P)	49	71.0	3.0	92.6	123
	98	100.9	4.7	92.8	
	196	145.0	7.7	94.9	
Aluminum Alloy (A2017)	49	40.2	5.8	74.0	72
	98	58.2	8.4	75.2	
	196	83.3	13.2	74.5	
Poly	49	133.8	67.5	2.39	2.35
	98	193.6	98.4	2.32	
Carbonate	196	271.3	140.2	2.36	(1.95)*

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

5. 結言

- (1) 荷重、変位測定部を計装化した市販のピッカース硬さ試験機を用いて、Fujitsuka et al.のヤング率算出理論式をマクロ領域に対して拡大適用した。
- (2) 合金工具鋼硬さ基準片HV500、高弾性材料のガラスBK7を校正用試験片として、試験機の弾性変形量と試験機校正係数を決定し、金属と高弾性材料のプラスチックに対してヤング率を算出したところ、銅硬さ基準片HV40を除き、文献値とほぼ良い一致を示した。従って、Fujitsuka et al.の理論が、マクロ領域で有用であることが確認された。
- (3) 今後はマクロ領域とマイクロ領域の境界付近の荷重域に対する理論式の有用性を検討する予定である。

本研究を行うにあたり実験などに協力いただいた学部4年生の小坂井暁史君、田辺愛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
- (2) Fujitsuka et al., J. Mater. Test. Res., Vol.48, No.4
- (3) 日本機械学会, 技術資料「金属材料の弾性係数」