

# 654 四角錐圧子を用いた硬さ試験方式によるヤング率評価

## Young's Modulus Evaluation using Hardness Testing with Pyramidal Indenter

○学 武士 侯 齊宏 (新潟大院)

正 石橋 達弥 (新潟大学)

正 大木 基史 (新潟大学)

吉川 武文 (日本精工)

Masahiro BUSHIMATA, Graduate School of Science and technology, Niigata University, 8050, Ikarashi 2-no-cho, Niigata  
 Tatsuya ISHIBASHI, Faculty of Engineering, Niigata University, University, 8050, Ikarashi 2-no-cho, Niigata  
 Motofumi OHKI, Faculty of Engineering, Niigata University, University, 8050, Ikarashi 2-no-cho, Niigata  
 Takefumi KICHIKAWA, NSK Ltd.

Key Words: Young's Modulus, Hardness Testing, Pyramidal Indenter, Plastics

### 1. 緒言

硬さ試験は、簡便、迅速に試験を行うことができるという利点を持ち、工業界において幅広く利用されている材料特性評価法である。

本研究では、試作した縦型微小押し込み硬さ試験機にピッカース圧子を装着し、試験片としてポリカーボネート及びアクリル樹脂のような高分子材料を対象に押し込み試験を行い、試験機較正係数を伴うヤング率算出理論<sup>(1),(2)</sup>からヤング率の算出を試みた。また、この算出されたヤング率から高分子材料のひずみ速度依存性等の材料特性について検討を行った。

### 2. 実験

#### 2. 1 微小押し込み硬さ試験機及び圧子

本研究室で設計・開発した Fig.1 に示すような縦型微小押し込み硬さ試験機 DVH2003 を用いて実験を行った。

本試験機は、変位測定装置として2つのリニアセンサ、荷重測定装置としてロードセルを取り付けてあり、これらから得られるデータをA/Dボードを介してコンピュータに取り込む方法になっている。圧子には、対面角 $\beta_{Oua}=136^\circ$ の正四角錐ダイヤモンド圧子[(株)東京ダイヤモンド工具製作所製]を使用した。ダイヤモンド圧子のヤング率は1140[GPa]、ポアソン比は0.07と与えた。

#### 2. 2 試験片及び試験条件

試験片として、ポリカーボネート(PC)、アクリル(AC)の他、較正用として硬さ基準片 HV500(炭素鋼)、BK7(ガラス)を使用した。試験荷重は、4.9、9.8[N]の2段階とし、各5回ずつ試験を行った。また、高分子材料に関しては算出ヤング率に対する試験速度の相違の影響を検討するため、押し込み速度を3段階(5、0.5、0.05[ $\mu\text{m/s}$ ])に変えて行った。実験は、室温23.5°C、湿度60%で行った。

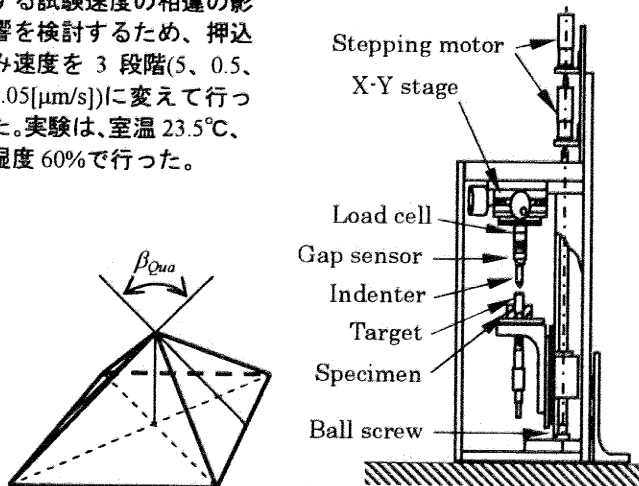
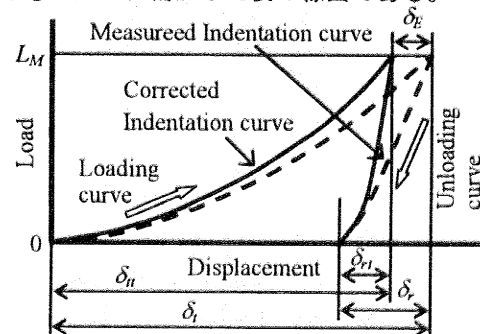


Fig.1 Schematic illustration of DVH2003 and Vickers indenter

### 3. 理論

#### 3. 1 荷重-変位線図

Fig.2は押し込み試験の荷重-変位線図の模式図である。この測定線図から圧子を試験片に押し込んだ時の最大荷重( $L_M$ )における押し込み量(変位量) $\delta_i$ と押し込み終了時の弾性回復量(除荷量) $\delta_r$ は決定される。しかし、圧子と試験片の接触時には圧子保持軸に弾性変形が生じるため、それを考慮に入れる必要がある。図中の破線は実験によって得られたデータの荷重-変位線図である。実線は試験機の弾性変形量 $\delta_E$ を考慮に入れ、補正した後の線図である。



$$\text{Corrected indentation depth: } \delta_H = \delta_i - \delta_E$$

$$\text{Corrected elastic recovery: } \delta_r = \delta_r - \delta_E$$

Fig.2 Relationships between displacement and load

#### 3. 2 ヤング率算出式

実験により得られた $L_M$ 、 $\delta_i$ 及び $\delta_r$ をヤング率 $E_S$ の算出式(1)に代入して、ヤング率を得る。

$$E_S = (1 - \mu_S^2) / \left\{ \left( \frac{8}{3\sqrt{\pi}} \right) \tan\left(\frac{\beta_{Oua}}{2}\right) \frac{(\delta_i - \delta_r)(\delta_r - \delta_E)}{L_M} \left(1 - X \frac{\delta_r - \delta_E}{\delta_i - \delta_E}\right) - I(E) \right\} \quad (1)$$

ここで、

$\mu_S$ : 試験片のポアソン比  $X$ : 試験機較正係数

$\mu_I$ : 圧子のポアソン比(=0.07)

$E_I$ : 圧子のヤング率(=1140[GPa])

$I(E) = (1 - \mu_I^2) / E_I$ : 圧子の弾性パラメータ

なお、実験により得られる押し込み量 $\delta_i$ 及び弾性回復量 $\delta_r$ には試験機の弾性変形量 $\delta_E$ が含まれているため、ヤング率算出においてはこの影響を考慮する必要がある。また金属に対するヤング率算出理論を高弾性材料に対して拡張するために定義された試験機較正係数 $X$ も決定する必要がある。その決定方法として金属及び高弾性材料の2種類の較正用試験片に対して行った押し込み試験による押し込み量 $\delta_i$ 及び弾性回復量 $\delta_r$ を式(2)に代入し、両試験片について荷重ごとにFig.3のようなプロットを得る。この時の両プロットの交点をその荷重での $\delta_E$ 及び $X$ とする。

$$X = \frac{(\delta_r - \delta_E)(\delta_r - \delta_E) - F(E)_{IS} \cdot L_M / \left\{ \frac{8}{3\sqrt{\pi}} \tan(\beta_{Qma}/2) \right\}}{(\delta_r - \delta_E)^2} \quad (2)$$

ここで、

$S(E) = (1 - \mu_S^2)/E_S$  : 試験片の弾性パラメータ

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

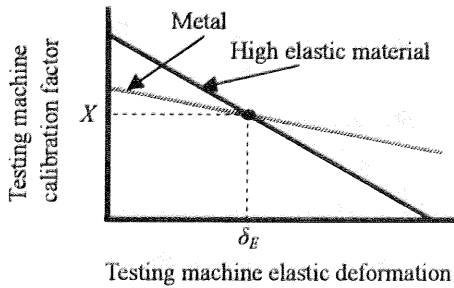


Fig. 3 Relationships between the testing machine calibration factor  $X$  and the testing machine elastic deformation  $\delta_E$  for calibration

#### 4. 実験結果

##### 4. 1 試験機較正係数 $X$ 及び弾性変形量 $\delta_E$ の決定

最初に、較正用試験片 2 種類に対して押し込み試験を行い、押し込み量  $\delta_r$  及び弾性回復量  $\delta_r$  を算出した。さらに、この結果から荷重ごとの試験機の弾性変形量  $\delta_E$  及び  $X$  を決定した。その結果を Table 1 及び Table 2 に示す。

Table 1 Average values of  $\delta_r, \delta_r$  for HV500 and BK7

Specimen	$L_M$ [N]	$\delta_r$ [ $\mu$ m]	$\delta_r$ [ $\mu$ m]
HV500	4.9	6.028	1.33
	9.8	8.591	2.00
BK7	4.9	6.364	3.20
	9.8	9.521	4.75

Table 2 Decided values of  $\delta_E, X$  for testing machine

$L_M$ [N]	$\delta_E$ [ $\mu$ m]	$X$
4.9	0.119	0.221
9.8	0.221	0.417

##### 4. 2 ヤング率算出結果

実験によって得られた荷重-変位線図の一部を Fig. 4 と Fig. 5 に示す。PC には試験速度の違いによる荷重-変位線図の違いはほとんど見られなかったが、AC には大きな違いが見られた。

試験機の弾性変形量  $\delta_E$  を考慮し、式(1)を用いて算出した PC と AC のヤング率及び、本実験で得られたデータを荷重ごとに平均し、Table 3 に文献値と共にまとめる。PC の場合は押し込み速度によるヤング率の違いがほとんど見られなかった。それに対し、AC の場合、押し込み速度が上昇するにつれて明らかにヤング率が上昇していることがわかる。これらのことから AC のひずみ速度依存性は PC に比べて大きいと考えられる。

#### 5. 結言

本研究では、試作した縦型微小押し込み硬さ試験機にピッカース圧子を装着し、試験機較正係数を伴うヤング率算出理論からヤング率の算出を試みた。さらにこのヤング率から高分子材料のひずみ速度依存性の有無について検討した。

実験結果より、PC の場合は速度の上昇によるヤング率の上昇はほとんど見られなかった。それに対し、AC の場合は押し込み速度が上昇するにつれて明らかにヤング率が上昇している。これにより AC のひずみ速度依存性が確認された。

#### <参考文献>

- (1) Masayuki FUJITSUKA・Tatsuya ISHIBASHI・Motofumi OHKI, Journal of Material Testing Research Association of Japan, Vol.48 No.2 (2003), 88
- (2) Masayuki FUJITSUKA・Tatsuya ISHIBASHI・Motofumi OHKI, Journal of Material Testing Research Association of Japan, Vol.48 No.3 (2003), 137

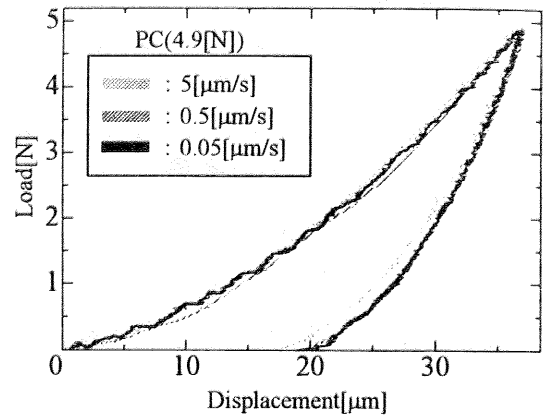


Fig. 4 Relationship between load and displacement for PC(4.9N)

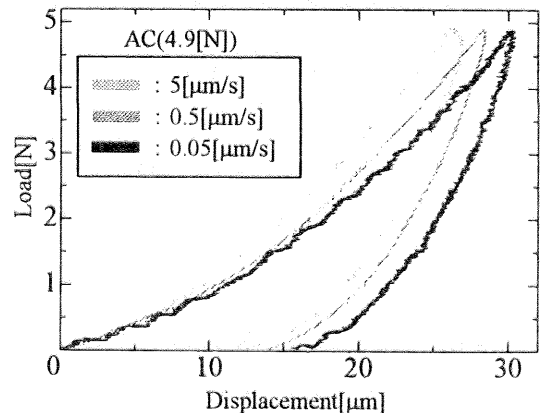


Fig. 5 Relationship between load and displacement for AC(4.9N)

Table 3 Calculated Young's modulus  $E_S$  of arbitrary specimens

Specimen	$L_M$ [N]	$\delta_r$ [ $\mu$ m]	$\delta_r$ [ $\mu$ m]	$\delta_r / \delta_r$	Calculated	Supposed
					value	value
					$E_S$ [GPa]	$E_S$ [GPa]
PC	4.9	35.27	20.4	0.578	1.89	
	(5 [ $\mu$ m/s])	9.8	51.27	29.2	0.570	
PC	4.9	36.03	20.1	0.558	1.87	2.35
	(0.5 [ $\mu$ m/s])	9.8	56.17	27.9	0.497	
PC	4.9	35.53	18.4	0.519	2.07	
	(0.05 [ $\mu$ m/s])	9.8	50.95	26.8	0.526	
AC	4.9	27.67	14.8	0.534	3.32	
	(5 [ $\mu$ m/s])	9.8	41.92	21.1	0.504	
AC	4.9	28.27	14.9	0.528	3.21	3.1
	(0.5 [ $\mu$ m/s])	9.8	43.12	21.3	0.495	
AC	4.9	30.80	15.4	0.501	2.83	
	(0.05 [ $\mu$ m/s])	9.8	46.05	21.2	0.461	