

# 302. 超微小硬さ試験方式による材料特性評価法の研究

A Study on an Evaluational Method of Determining Materials Characteristics Using an Ultramicro Hardness Testing Machine.

○学 福田義博 (新潟大院) 正 石橋達弥 (新潟大)  
 学 広川頼央 (新潟大院) 齋藤 潮 (新潟三洋電子)

Yoshihiro FUKUDA, Tatsuya ISHIBASHI, Norinaka HIROKAWA :  
 Faculty of Engineering, Niigata University, Ikarashi 2-no-cho 8050, Niigata, 950-21 JAPAN  
 Ushio SAITOU : Niigata Sanyo Electronic Co.LTD.

Keywords : Ultramicro Hardness Tester, Material Characteristics, Young's Modulus of Metals, Ball Indenter.

## 1. 緒言

前報<sup>1)</sup>においては、コンピュータ計測制御式横型超微小硬さ試験機とそれによるヤング率の測定結果を示した。本報では圧子球保持軸部の弾性変形について考察を行い、保持具付き球圧子による金属のヤング率直接測定理論式を示すとともに、自動測定のための波形処理方式について報告する。

## 2. 保持具付き球圧子による金属のヤング率直接算出理論

硬さ試験機を使用して球圧子による押込み等を行う場合には、圧子球に対する何らかの保持具が必要となる。

金属への超微小押込み試験に際しては、押込み量や除荷量に対する圧子球保持具部の弾性変形量の影響は甚大であるため、本章で保持具付き球圧子によるヤング率直接算出式を検討する。

### 2.1 保持具部の弾性変形量

硬さ試験機に用いる圧子形状として、Fig.1に示すような保持具付き球圧子の形状を考える。

圧子球の前面部が金属への接触を開始した後最大荷重 $L_m$ に達するまでの保持具部の弾性変形量は、圧子球受け部 $O_0$ 近傍の変形と、 $O_0$ から $O_n$ に至る軸部の弾性変形とからなり押込み線図はFig.2のようになる。

まず圧子球受け部 $O_0$ 近傍の弾性変形量 $\delta_{v1}$ は、凹面部の形状に仕上げられた保持具材料の弾性変形量と、圧子球の背面部の弾性変形量との和であるから、この部分に近似的にHertzによる球と凹球面との弾性接触の関係式が成り立つとすれば、 $\delta_{v1}$ は次のようになる。

$$\delta_{v1} = C_1 \cdot L_m^{2/3} \quad \dots (1)$$

$$C_1 = \sqrt[3]{\frac{9}{8} \cdot \left(\frac{1}{D} - \frac{1}{D_0}\right) \cdot f(E)^2} \quad \dots (2)$$

次に保持軸部( $O_0 \sim O_n$ )の弾性変形量 $\delta_{v2}$ は、基本的には荷重 $L$ に比例すると考えてよいから、 $C_2$ を比例定数として次のように与える。

$$\delta_{v2} = C_2 \cdot L_m \quad \dots (3)$$

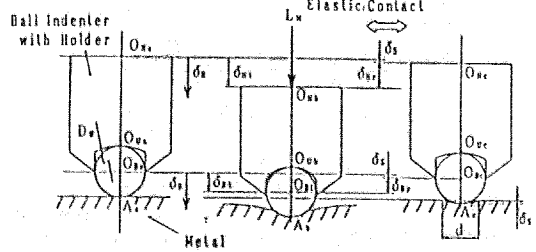


Fig.1 Contact Figures between a Ball Indenter with Holder and a Metal's Surface

よって、保持具部の弾性変形量 $\delta_v$ は、次式で示される。

$$\delta_v = \delta_{v1} + \delta_{v2} = C_1 \cdot L_m^{2/3} + C_2 \cdot L_m \quad \dots (4)$$

### 2.2 保持具付き球圧子による金属のヤング率直接算出式

Fig.1に示すように、保持具付き球圧子の $O_n$ 点の移動量( $O_n \rightarrow O_{n1}$ )すなわち押込み量 $\delta_{n1}$ は、Fig.2に示すように球単体圧子の押込み量 $\delta_{n1}$ と保持具部の弾性変形量 $\delta_v$ の和として、次のように示される。

$$\delta_{n1} = \delta_{n1} + \delta_v \quad \dots (5)$$

同様に、 $O_{n1}$ 点から $O_{n2}$ 点への保持具付き球圧子の除荷量 $\delta_{n2}$ は、球単体圧子の除荷量 $\delta_{n2}$ と保持具部の弾性変形量 $\delta_v$ の和として、次のように示される。

$$\delta_{n2} = \delta_{n2} + \delta_v \quad \dots (6)$$

従って、式(5)、(6)より得られる次の関係式を

$$\delta_{n1} = \delta_{n1} - \delta_v \quad \dots (7)$$

$$\delta_{n2} = \delta_{n2} - \delta_v \quad \dots (8)$$

とすれば、保持具付き球圧子による金属のヤング率直接算出式として、以下の式を得る。

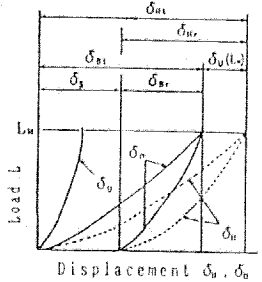


Fig.2 Indentation Curve

$$E_s = (1 - \mu_s^2) \left[ \frac{4(\delta_{n1} - \delta_v)}{3 \cdot L_m} \sqrt{D \left( \frac{\delta_{n1} + \delta_{n2}}{2} \right) - I(E)} \right] \quad \dots (9)$$

ここで、 $E_s$ 、 $E_1$ および $\mu_s$ 、 $\mu_1$ は金属試料と圧子球のそれぞれヤング率およびポアソン比、 $D$ は圧子球直径、 $I(E) = (1 - \mu_s^2)/E_s$ は圧子球の弾性パラメータ、 $f(E) = (1 - \mu_s^2)/E_s + I(E)$ は試料と圧子球との弾性パラメータである。

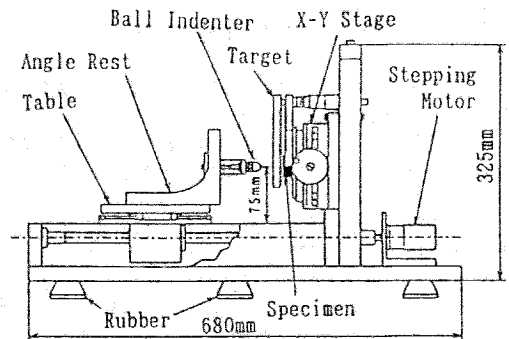


Fig.3 Side View of Ultramicro Hardness Tester

3. 実験装置

3.1 横型超微小硬さ試験機

Fig. 3に試験機本体の側面図を示す。以下測定原理、計測・制御システムについては前報<sup>1)</sup>を参照。

4. 実験結果

保持具部の弾性変形量 $\delta_u$ は保持具部と球圧子の材質に依存し押し込み荷重 $L_M$ の関数となる。そこで定数 $C_1$ を決定するために1種類の材質 (Brass) に対し実験を行い、保持具付き球圧子による金属のヤング率算出式(9)を保持具部の弾性変形量 $\delta_u$ で整理しなおした $\delta_{u1}$ に関する3次式に、実験で得られた押し込み量 $\delta_{H1}$ 、除荷量 $\delta_{Hr}$ 、押し込み荷重 $L_M$ および既知量である圧子球直径 $D$ 、試料のヤング率 $E_s$ 、ポアソン比 $\mu_s$ 、圧子球の弾性パラメータ $1(E)$ を代入し、 $\delta_{u1}$ と $L_M$ の関係を得、 $C_1$ を決定したところFig. 4に示すような $\delta_{u1}$ - $L_M$ 線図が得られた。このデータを最小二乗法で近似した結果、荷重 $L_M$ と補正量 $\delta_{u1}$ の関係は2/3次式となる。また、実験荷重範囲では $C_2 L_M$ は数nm程度のため無視しえることから $\delta_{u1} = \delta_u$ として、結局、次式のように求められた。

$$\delta_u = 0.0382 \cdot L_M^{2/3} \quad \dots (10)$$

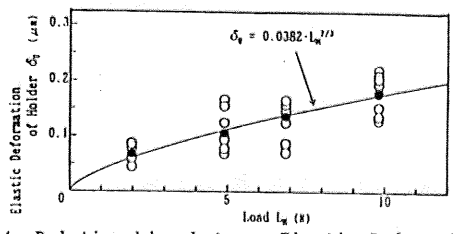


Fig. 4 Relationship between Elastic Deformation of Holder and Maximum Load (Brass HB)

5. 自動測定のための波形処理

Fig. 5(a), 5(b)にBrassに対する実験で得られた荷重・変位-時間線図と荷重-変位線図(押し込み曲線)を示す。自動測定を目的とすると、この状態での押し込み曲線において圧子が試験面に接触する点と離れる点を自動的に決定するのは困難である。そこで自動測定の前段階として測定データの波形処理を行った。

まず、変位の3点平均処理を行い、測定データと平均値との差がある値(今回は $0.2 \mu m$ とした)より大きい場合にはそのデータはノイズと考え除去し、そのデータを最小二乗法を用いて、全体を2次式で、試験片表面付近では3/2次式に近似した後、2つの曲線をつなぎ合わせた。Fig. 5(c)がFig. 5(b)を波形処理したものである。Fig. 6(a), (b)がアルミ、Fig. 7(a), (b)がステンレスのデータを処理したものである。

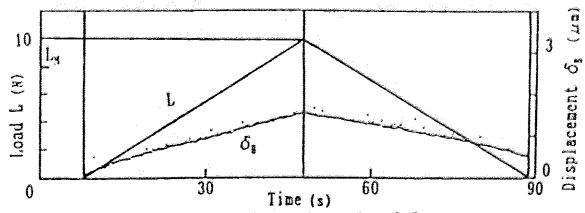


Fig. 5(a) Relationship between Load L, Displacement  $\delta_s$  and Time (Brass  $L_M=9.8N$ )

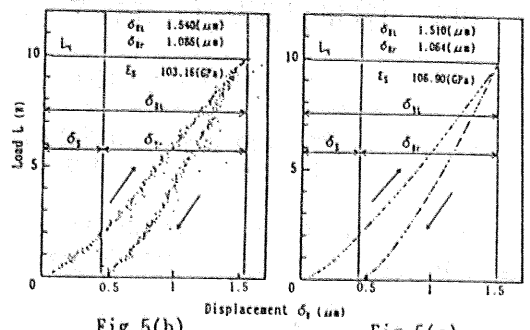


Fig. 5(b) Relationship between Load and Displacement (Brass  $L_M=9.8N$ )

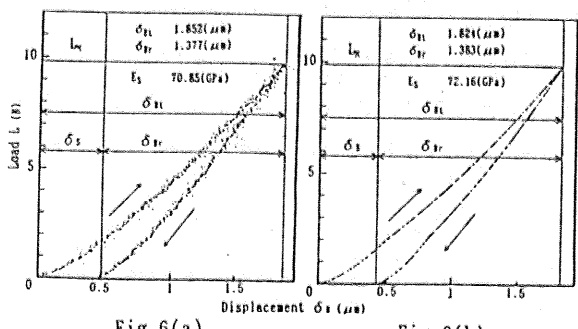


Fig. 6(a) Relationship between Load and Displacement (Aluminum  $L_M=9.8N$ )

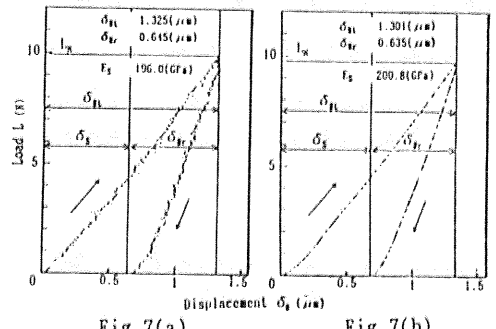


Fig. 7(a) Relationship between Load and Displacement (Stainless  $L_M=9.8N$ )

6. 結言

- (1) 超微小硬さ試験機における保持具付き球圧子によるヤング率直接算出理論式を示した。
- (2) 圧子の押し込み量、除荷量に関する試験機構造上の特性である圧子球保持部の弾性変形量と押し込み荷重の関係式を求めた。
- (3) 測定データを用いて、押し込み開始点、終了点の自動測定を行うための基本的な波形処理に関する検討を行った。

本研究を行うにあたり御協力いただいた4年生の館野孝史君に感謝申し上げます。

参考文献

1) 斎藤、石橋、他：山梨講演論文集 ('93-10-30 山梨) p.100~102