

球圧子の押し込み硬さ試験方式を利用した
高分子材料のヤング率測定法

正 石橋 達弥 (新潟大学) 正 下田 茂 (新潟大学) 正 吉川 徹 (新潟大学)
正 新田 勇 (新潟大学) 学 吉田 秀敏 (新潟大学院)

1. 緒 言

本研究は、簡便性・迅速性などの利点を持ち、幅広く利用されている硬さ試験機の機能拡大を図る一環として、球圧子の押し込み硬さ試験方式の利用による、高分子材料のヤング率測定法を検討したものである。

基本関係式の解析・実験・結果の考察を通して、このような方法が現行の硬さ試験機にも応用でき、その多機能化を促進できることを報告する。

2. 剛体圧子球とくばみの接触関係式

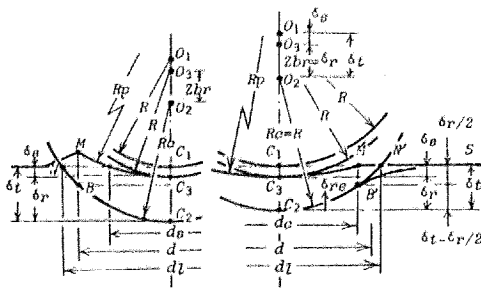


図1(a)実際の接触のモデル図 (b)高分子材料の場合

圧子球を剛体とみなすと、Hertzの弾性接触論より d をくばみ直径、 δ_r をくばみの弾性回復量、 L を圧子荷重、 E_s を高分子材料のヤング率として式(1)の関係を導く。(μ_s をポアソン比として、 $1-\mu_s^2=0.9$ とする)

$$E_s = 0.9(3/2)L/(d \delta_r) \quad \text{-----(1)}$$

一般に、高分子材料上のくばみ直径の測定は困難であるから、式(1)を実際利用するためには、 d を深さ方向の量 δ_r 、 δ_t (押し込み量)で現わす必要があり、図1の幾何学的関係を用いれば、圧子球直径 D と δ_c 、 δ_r で表わされる接触直径 d と試料面直径 d_1 とを得る。これらにより d を近似し得る。

$$d_c = 2[D(\delta_t - \delta_r/2)(1 - (\delta_t - \delta_r/2)/D)]^{1/2} \quad \text{-----(2)}$$

$$d_1 = 2[D\delta_t(1 - \delta_t/D)]^{1/2} \quad \text{-----(3)}$$

3. 球圧子の押し込み・除荷様式と平均ひずみ速度
高分子材料は粘弾性材料であるので、 E_s にひずみ速度依存性を示すものもある。そこで、 ϵ_{ir} を弾性くばみの平均ひずみ、 t_r を除荷に要する時間とすると、球圧子による平均ひずみ速度 $\dot{\epsilon}_{ir(m)}$ は式(4)となる。

$$\dot{\epsilon}_{ir(m)} = \epsilon_{ir}/t_r \quad \text{-----(4)}$$

次に、 ϵ_{ir} と単軸応力状態下の弾性回復ひずみ ϵ_r の、弾～塑性遷移過程における関係は、 ϵ_{ic} を全くばみの平均ひずみとした時、次式の解として与えられる。

$$1.1(\epsilon_{ir}/\epsilon_r) = 1.192/3 \ln\{(\epsilon_{ir}/\epsilon_r)(\epsilon_{ic}/\epsilon_{ir})\} \quad \text{--(5)}$$

この解は ($\epsilon_{ir}/\epsilon_{ic}$) の項による近似式で表わせるから、結局、球圧子を用いてヤング率を測定する場合の、単軸応力下のひずみ速度に対応する平均ひずみ速度 $\dot{\epsilon}_r$ は、式(6)のように表わすことができる。

$$\dot{\epsilon}_r = \epsilon_r/t_r \{ (\epsilon_{ir}/t_r) \cdot e \exp[1.17\{(\epsilon_{ir}/\epsilon_{ic}) - 1\}] \} \quad \text{--(6)}$$

4. 実 験

高分子材料としては、PMMA (アクリル)、PC (ポリカーボ)、PE (ポリエチレン) の3種を用い、 $E_s - \dot{\epsilon}$ の関係は定ひずみ型圧縮試験機により、また球圧子の押し込み実験は、アームストロング型ピッカース硬さ試験機を利用して行ない、圧子変位と荷重とを測定した。

5. 実験結果と考察

くばみ直径 d は d_c と d_1 により次式で求まる。

$$d = d_1 [1.71 - 0.707(d_1/d_c)] \quad \text{-----(7)}$$

測定した d 、 δ_r により式(1)から求めた値を白印で、また、 δ_t と δ_r のみの測定値を用いて式(7)と(1)から求めた値を黒印で、図2中に示してある。

これによれば、圧縮試験による値と球圧子による値とは、5-10%程度の範囲で一致することがわかる。

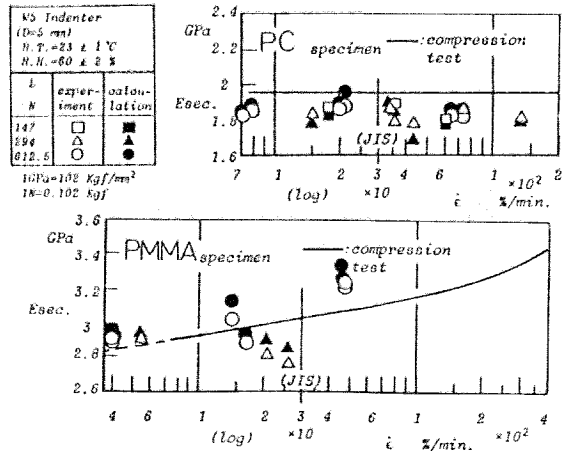


図2 $E_{sec} - \dot{\epsilon}$ と球圧子による値との比較