

正 石橋 達弥 (新潟大) 学 瀧沢 英喜 (新潟大院) 正 吉田 秀敏
 正 田村 隆 (新潟大) 学 手塚 孝治 (新潟大院)

1. 緒言

硬さ試験は測定に際しての簡便性・迅速性という利点と、平行な2面さえあれば寸法の大小や形状にはあまりこだわらないという試験片作成上・採取上の利点を持ち、材料試験の一形態として工業的に広く利用されている。

特に、高分子材料や複合材料などのようなひずみ速度依存性を有する材料や、その他の新素材をも含めた広範囲な材料の特性把握に対応できる、多機能化硬さ試験機の研究は工業上からも必要とされている。

そのため本報告においては、最も自動化を図り易い方式として、準静的～動的硬さ試験では圧子の押込み力と変位量を、衝突・反発硬さ試験では球圧子の衝突力をそれぞれ測定することにし、その際得られるデータをコンピュータで処理するとともに、試験機の制御も併せて行う計装型多目的硬さ試験機を設計・製作し、その有用性と可能性について述べた。

2. 計装型多目的硬さ試験機の設計・製作

2・1 基本構造 圧子への荷重負荷方法としてはいろいろあるが、最大荷重を9800N程度とし、ひずみ速度の制御の容易さ、荷重の設定の容易さから、ネジ・ナット方式の機械的動力伝達装置を採用する。ネジは動力伝達の損失を少なくするため予圧型ボールスクリュネジとし、さらにクロスヘッドのブレを防止するため、クロスヘッドと機枠との間に直線運動軸受を組み込む。

この方式では、圧子を試料中へ押込みある位置で保持する定変位様式が制御し易いが、押込みの間圧子荷重を一定に保つような、従来の硬さ試験と同様な定荷重様式も計装化とコンピュータ制御により可能とする。(図1, L:荷重, δ :変位)

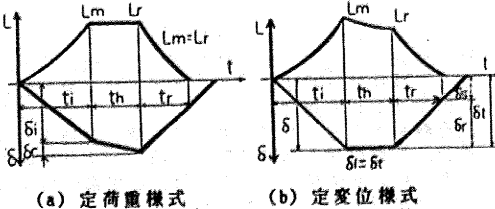


図1 硬さ試験における定荷重様式、定変位様式

2・2 衝突・反発試験に対する構造 球圧子の衝突押込み試験に関する文献では圧子質量に対して試料受台は大質量であるという条件があげられており、本試験機の場合球圧子の質量などを考え、試料受台の重量は600N以上とする。かつ、クロスヘッドの基本的な形は直方体とし、衝突試験装置を組み込める構造とする。

2・3 動力源 試験機の動力源としては、負荷変動による回転速度の影響がないこと、コンピュータによる制御が容易であり、振動も少ないという点から5相ステッピングモータを採用する。

2・4 計装型多目的硬さ試験機本体 これらの設計にしたがって、図2に示すような計装型多目的硬さ試験機を試作した。

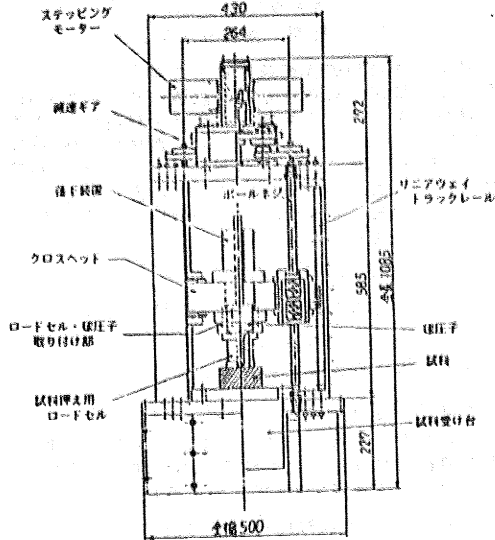


図2 計装型多目的硬さ試験機本体 (衝突試験装置組み込みの場合)

3. 計測・制御システム

3・1 計測 変位量の測定にはポジションスケール(最大300mm, 最小目盛0.5 μ m)を採用し、クロスヘッド部に取付ける。押込み力あるいは衝突力の測定には、圧子形状としては先端球圧子[図5(a)]を用い、その圧子球保持軸部のひずみゲージから動ひずみ計(応答周波数 \approx 40KHz)を通し、低速度試験では直接パソコンへ、衝突・反発試験ではいったんトランジェントレコーダ(最小読み取り時間間隔1 μ sec, 8ビット出力)を介してパソコンに読み込む。

3・2 制御 計測したデータの処理と試験機の制御をパソコンによって行うことにし、パソコンとステッピングモータ駆動回路の間にマイコンを組み込んで、つねにパソコンからのクロスヘッド速度データに応じたパルス発信しステッピングモータを駆動する。また、パソコンの場合、荷重、変位のデータを読み取りメモリーに蓄えると同時にその値に応じてクロスヘッド速度データを変化させて出力し、測定終了後データをフロッピーディスクにセーブさせる。なお、衝突試験では一定押え力で試料を固定するようにクロスヘッドと試料との間に、試料押え用ロードセル(図2)を取り付け、パソコンで制御する。

3・3 計測・制御システム 上述の計測・制御システムを示すと図3のようになる。

4. 試験機の検定

以上のような設計に基づいて試作した計装型多目的硬さ試験機のシステムとしての検定を行ったところ、最高速度(\approx 500mm/min)、最大荷重(9800N)および計測・制御などのシステムは予定の性能を示した。

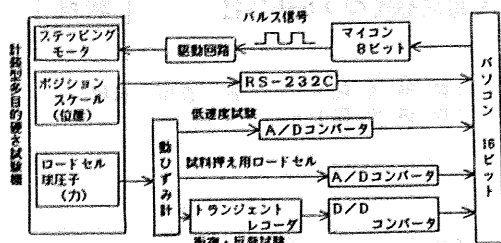


図3 計測・制御システム

5. 計装型多目的硬さ試験機による測定

5.1 球圧子の押込み硬さ試験方式を利用した高分子材料のヤング率の測定 高分子材料[ヤング率 E_s , ポアソン比 μ_s , $(1-\mu_s^2)=0.9$]に剛体圧子球[直径 D , ヤング率 E_i , ポアソン比 μ_i , ただし, $E_i \gg E_s$]を荷重 L で押込み, この時の接触直径(くぼみ直径)を d , くぼみの弾性回復量を δr とすると, Hertzの弾性接触論より次のような接触関係式を得る。

$$E_s = 0.9(3/2)L / (d \cdot \delta r) \quad \dots(1)$$

また, 弾性くぼみの平均ひずみ ϵ_{ir} は,

$$\epsilon_{ir} = 0.43(0.9)3L / (E_s \cdot d^2) \quad \dots(2)$$

で表され, 全くくぼみの平均ひずみ ϵ_{ic} は,

$$\epsilon_{ic} = 0.21[1 + \{3DL \times 0.9 / (d^2 \cdot E_s)\}] (d/D) \quad \dots(3)$$

で与えられる⁽³⁾。さらに, 球圧子を用いてヤング率を測定する場合の単軸圧縮応力状態下のひずみ速度に対応する平均ひずみ速度 $\dot{\epsilon} r$ は次式のように示される。

$$\dot{\epsilon} r = \epsilon r / t_r \approx (\epsilon_{ir} / t_r) \cdot \exp[1.17\{(\epsilon_{ir} / \epsilon_{ic}) - 1\}] \quad \dots(4)$$

さらに, くぼみ直径 d を圧子の変位量から算出する式を用いて, 定変位モードで測定した場合の高分子材料のヤング率を図4に示す。

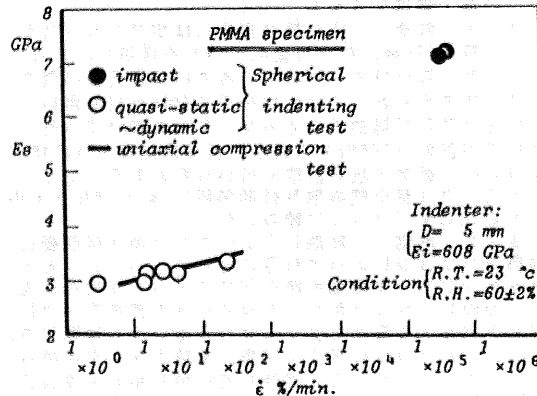


図4 球圧子の押込みによるヤング率-ひずみ速度線図

5.2 球圧子の衝突試験方式を利用した高分子材料の衝突ヤング率の測定

図5(a)のように重さ W , 先端球部の直径 D の圧子が高さ H_0 より落下し[衝突初速度 V_0]、試料面上に永久くぼみ(くぼみ直径 d)を生じたのち, 高さ H_r まで反発した[反発初速度 V_r]場合、接触部に蓄えられる弾性エネルギーを U_c 、圧子球保持軸部に蓄えられる弾性エネルギーを U_s とすると、

$$W \cdot H_r = U_c + U_s = \{[(3/5)f(E)/d] + C_k\} \cdot F_m^2 \quad \dots(5)$$

となる⁽⁴⁾。ここで, $f(E)$ は圧子球と試料との接触に関する弾性パラメータ, F_m は最大衝突力, C_k は圧子球保持軸部の弾性効果係数である。また, 図5(b)のような衝

突力波形と、運動量と力積の関係から、

$$W(V_0 - V_r) / g = W\sqrt{2/g}(\sqrt{H_0} + \sqrt{H_r}) = \int_0^T F dt \quad \dots(6)$$

$$H_r = \{[(\sqrt{g/2})/W] \cdot \int_0^T F dt - H_0\}^2 \quad \dots(7)$$

よって、衝突力波形を測定することにより H_r は算出でき, $f(E)$ は次式で求まる。

$$f(E) = (5/3) \cdot W(H_r - H_k) / F_m^2 \quad \dots(8)$$

ここで, H_k は圧子球保持軸部の弾性効果による相当反発高さ(= $C_k \cdot F_m^2 / W$)である。また, 試料として高分子材料を考えた場合, $S(E)$ と $I(E)$ をそれぞれ試料と圧子球の弾性パラメータとすると, $f(E) \approx S(E) = (1 - \mu_s^2) / E_s \gg I(E) = (1 - \mu_i^2) / E_i$ より、

$$E_s = (0.9) \cdot 3 \cdot F_m^2 / \{5 \cdot W(H_r - H_k) / d\} \quad \dots(9)$$

となる。また, ひずみ速度は静的な場合の関係式(2)~(4)中の L に F_m を代入すれば求められる。したがって, 球圧子の衝突試験を行い, 衝突・反発時の衝突力波形をトランジエントレコーダを介してパソコンに入力・処理することにより, 以上の関係式を用いて, 試料の衝突ヤング率を求めることができる。実験結果を図4に●印として示す。特に粘弾性的性質の著しいPMMAのヤング率が, ひずみ速度に顕著に依存することがわかり, また, 単軸圧縮試験によるヤング率と比較すると, 低~中ひずみ速度域では5~10%程度の範囲で一致している。

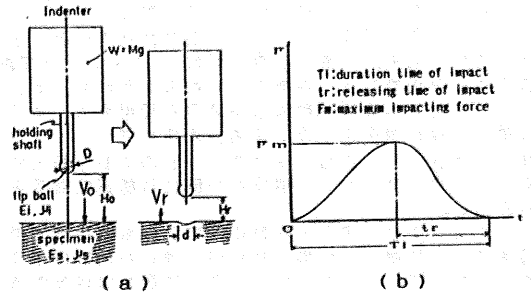


図5 先端球圧子の衝突と衝突力波形

6. 結言

以上の結果をまとめるとつぎのようになる。

- (1) 硬さ試験機のシステム中にパソコンを組み込み, かつ, 球圧子を基本的に用いることで, 準静的から衝突試験まで連続して使用可能な多機能化硬さ試験機を考案することができ, 試験機の計装化, 自動化, 計算処理, 試験時間の短縮, および準静的の場合には定変位モード, 定荷重モードの実験が行えるなど効果が大きいことがわかった。
- (2) この計装型多目的硬さ試験機を使用してできる試験の応用例としては, たとえば金属材料のヤング率の測定や材料の応力~ひずみ関係の測定, および図1に示すような押込みにおけるクリープ特性または応力緩和特性などを解析することにより, 高分子材料の粘弾性力学モデル定数の決定, あるいは材料試験機としての活用など いろいろな応用が可能と考えられ, 現在検討中である。さらに今後の利用拡大を図る基礎研究を推進するとともに, 本報告での試作型を発展させたような一般に普及できる市販型試験機を開発する必要がある。

参考文献

- (1) 石橋・他4名, 機論, 54-501, A(昭和63-5), 1158.
- (2) 飯塚, 計量研報告, 20-4(昭和46).
- (3) 石橋・他4名, 機論, 53-495, A(昭和62-11), 2193.
- (4) 石橋・下田, 機論, 52-483, A(昭和61-11), 2538.