

# 302. 球押し込み硬さ試験に現れるプラスチックの粘弾性現象に関する実験的研究

Experimental studies about the Viscoelastic Properties of Plastics in Ball Indenting Hardness Test

学 小熊 幸成 (新潟大院)                      正 石橋 達弥 (新潟大)  
 学 木村 浩和 (新潟大院)                      正 山口 敦規 (富士通(株))

Yukinari OGUMA, Tatsuya ISHIBASI and Hirokazu KIMURA, Faculty of Engineering, Niigata University, 8050 2-no-cho Ikarasi, Niigata 950-21, Japan ; Atsuki YAMAGUCHI, Fujitsu Inc.

Key words : Viscoelastic Properties of Plastics, One-stage Constant Load Ball Indenting Hardness Test

## 1. 緒言

プラスチック等の粘弾性材料について硬さ試験を行う際に現れる粘弾性現象は、測定上では安定した値が得られない原因となる不良因子という考え方がなされている。しかし、硬さ試験を利用して粘弾性の性質を定量化する方法が開発されれば、プラスチックに限らず金属・非金属などの高温における粘弾性的性質の定量化へと発展させることも可能となり、非常に有意義なものとなる。

そこで、本研究では低荷重域で一定圧子荷重を保持した球押し込み硬さ試験を行い、そこに現れるプラスチックの粘弾性現象について実験的に検討し、考察を行った結果を報告する。

## 2. 試験機および計測・制御システムについて

Fig.1に本実験に用いた試験機の全体図を、Fig.2に計測・制御システム図を示す。

試験機は、駆動源としてハーモニックギヤード5相ステッピングモータを用い、その回転力をボールねじを介することにより、リニアウェイ上のテーブルの運動に変換する構造である。

荷重および変位の検出部であるロードセルおよびギャップセンサは球圧子と一体構造とし、移動テーブル上に固定してある。なお、モータの1step当りの圧子の

移動量は $0.05\mu\text{m}$ である。

また、外部からの振動の影響を取り除くために、試験機全体を防振ゴム上に設置してある。

試験機の制御は、まず押し込み速度、押し込み荷重等のデータをパソコンより入力する。そのデータはI/Oボードを介してパルス発信機に伝えられ、パルス発信機はデータに見合ったパルスを送りモータを動作させる。荷重及び変位のアナログデータは、増幅機を通り12ビットADCよりパソコンに入力される。この荷重データを基に、パソコンは一定圧子荷重保持を行うようにモータを適宜駆動させる。

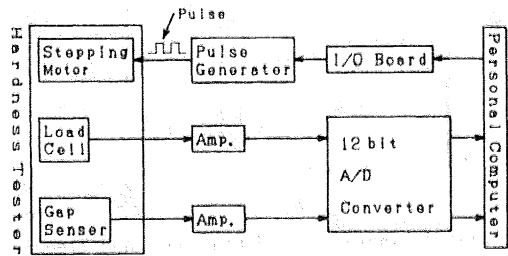


Fig.2 Control System Chart

## 3. 一定圧子荷重球押し込み硬さ試験の様式

実験様式を図に表すと、Fig.3のようになる。

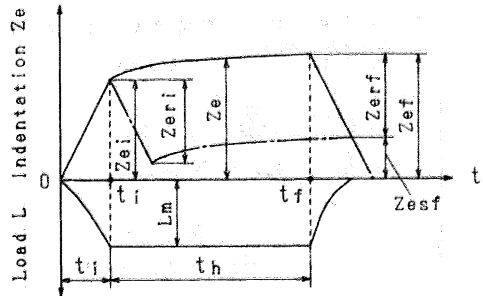


Fig.3 Diagrams between Indentation  $z$ , load  $L$  and Time  $t$

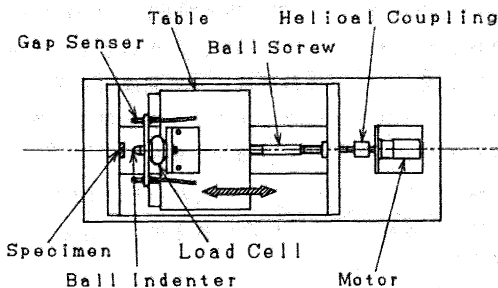


Fig.1 Hardness Tester

まず、試験片に球圧子を圧子荷重  $L_m$  まで一定速度で押し込み ( $Z_e = Ze_i$ )、直ちに除荷する。このときの圧子の除荷量は  $Z_{er}$  で表される。

次に、再度球圧子を押し込み圧子荷重  $L_m$  で定荷重保持動作を行わせ、一定時間  $t_h$  保持した後に除荷する。保持期間中に押し込み量は徐々に増加していき、 $t_h$  時間後には  $Z_{ef}$  となる。

#### 4. 実験方法

実験は、前章で述べた様式に従って行った。試験片には厚さ10mmのアクリルを、球圧子には直径5mmの超鋼を用いた。また、圧子荷重  $L_m$  は490gf、840gf、1500gfの3種類とし、ひずみ速度約30%/minの速度で押し込んだ。保持時間  $t_h$  は、押し込み時間  $t_i$  の約100倍とした。

なお、実験は室温  $23 \pm 1^\circ C$  のもとで行った。

#### 5. 実験結果及びその考察

##### 5.1 圧子押し込み量～時間線図

Fig.4は、一定荷重保持を行った場合の圧子押し込み量～時間線図である。図より明らかなように、一定荷重が保持された直後押し込み量は急激に増加し、その後時間の経過と共に徐々に増加していくという傾向が見られた。

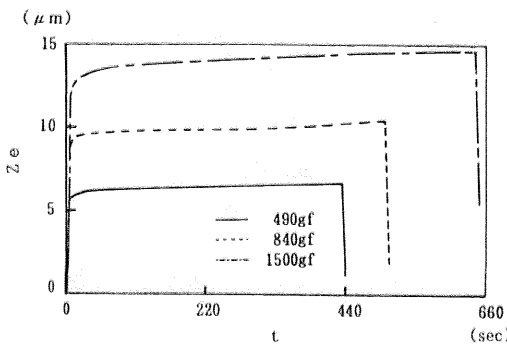


Fig.4 Diagram of Indentation  $z$  and Time  $t$

##### 5.2 粘弾性特性関数

$P(t)$  は、圧子荷重下においてプラスチックの粘弾性的性質に起因して時間の関数で与えられる無次元量であり、粘弾性関数と呼ばれるものである。

Fig.5に粘弾性特性関数～時間線図を示す。時間の増加と共に  $P(t)$  も増加していることがわかる。

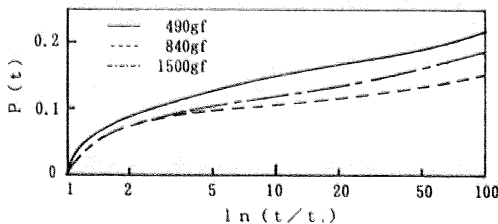


Fig.5 Diagram of Viscoelastically Characteristic function  $P(t)$  and Time  $t$

##### 5.3 一定荷重載荷後の全ひずみ比～時間線図

全ひずみ比は、次式を用いて算出した。

$$\frac{\epsilon_a}{\epsilon_i} = \frac{2 \cdot \{1 - P(t)\}^3}{\{1 - P(t)\} + 2 \cdot Q_i - 1}$$

ただし、 $Q_i$  は時刻  $t_i$  での押し込み量と除荷量との比で与えられる無次元量で、次式で表される。

$$Q_i = Z_{er} / Ze_i$$

Fig.6に全ひずみ比～時間線図を示す。いずれの場合も0.95～1の間にあり、時間に関係なく、全ひずみ比はほぼ1の値を取ると考えられる。

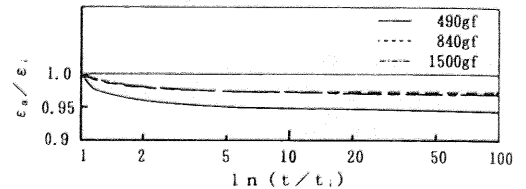


Fig.6 Diagram of Ratio of total strain and Time  $t$

##### 5.4 一定荷重載荷後の変形抵抗比～時間線図

変形抵抗比は、次式を用いて算出した。

$$\frac{Y_a}{Y_i} = \frac{(\frac{\epsilon_a}{\epsilon_i}) - 1 - \sqrt{1 - [\frac{\{1 - P(t)\}^2}{Q_i \cdot (\frac{\epsilon_a}{\epsilon_i})]}}}{1 - 1/(Q_i)^2}$$

Fig.7に変形抵抗比～時間線図を示す。時間の増加と共に、初めは急激にそして徐々に緩やかに変形抵抗比が減少しているのがわかる。以上から、一定荷重保持下のプラスチックにおいては、ひずみは変化せず応力のみ減少するという、すなわち応力緩和現象の状態にあることがわかる。

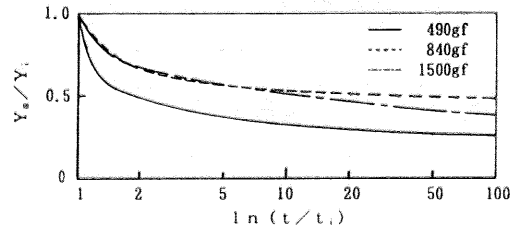


Fig.7 Diagram of Ratio of flow stress and Time  $t$

#### 6. 結言

- (1) 低荷重域での一定荷重球押し込み試験を行い、圧子押し込み量～時間線図を得た。
- (2) その線図を基に、粘弾性特性関数  $P(t)$  と押し込み量/除荷量比  $Q_i$  を求め、さらに  $P(t)$  と  $Q_i$  を用いて全ひずみ比～時間線図、および変形抵抗比～時間線図を得た。その結果、圧子球下でのプラスチックの粘弾性現象は応力緩和現象であることを実験的に確認した。

本論文作成に際し協力していただいた、4年生の小熊孝浩君、斉藤潮君、吉川均君に感謝申し上げる。

#### 参考文献

- (1) 石橋達弥 成形加工 Vol.3 No.1 (1991)
- (2) 石橋達弥、他 成形加工 投稿中