

# 柔軟物に発生したくぼみ深さの重ね合わせの原理

○横田 理(日大工・機械)

長尾光雄(日大工・機械)

## 1. 緒言

プラスチックやゴムなどの高分子材料、腱や筋肉などの生体部位、寒天やゼラチンなどの加工食品の形状は、一様な負荷のもとで時間とともに変化していくクリープ現象、およびクリープ回復現象が現われるので、弾性的性質、粘性的性質、およびそれらを合わせ持つ粘弾性挙動が示される。これらの材料のクリープ挙動とその回復挙動の正確な評価には、瞬時的な負荷と除荷、および瞬時的な材料変形を計測できるシステムが必要になる。しかし、従来の試験方法は固体を負荷媒体として使用されているので、瞬時の負荷・除荷、また瞬時の変形を計測できない場合がある。特に非常に短時間での繰り返し負荷・除荷において、負荷直後、および除荷直後の局所的変形挙動を捉えることは、材料の物理的特性を知る上で重要である。<sup>1),2)</sup>

本装置は、空気を一定時間連続して吹き付ける方法で、柔軟物表面への負荷と除荷を瞬時に行うことができ、またその表面に発生したくぼみは半導体レーザ光で計測するので、くぼみの直径や深さの寸法および形状を瞬時に計測できる。しかし、空気噴流を利用して柔軟物表面に繰り返し負荷させたときのくぼみ深さのクリープ挙動とその回復挙動の繰り返し履歴や記憶現象を測定した例は、著者らの知る限りでは報告されていない。

ここでは、空気噴流による繰り返し試験での結果、くぼみ深さの挙動が異なるので、そのクリープおよびその回復挙動の重ね合わせの原理について調べた。

## 2. 測定原理および装置概要

柔軟物として使用したスライム表面に生成

されるくぼみ深さの測定原理と装置概要を図1に示す。空気噴流を柔軟物表面に吹き付けると、噴流圧力により表面は変形してへこむ。これを2次元形状記憶センサにより測定する。

## 3. 重ね合わせの原理

空気噴流を柔軟物表面に与えたとき、柔軟物表面にクリープ挙動およびクリープ回復挙

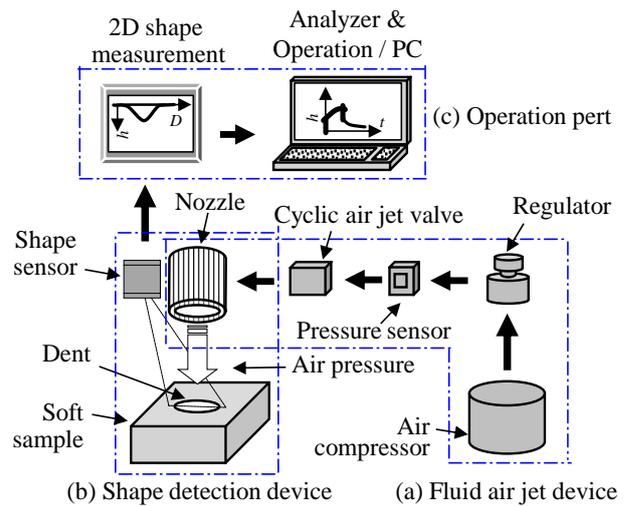


Fig.1 Measurement principle.

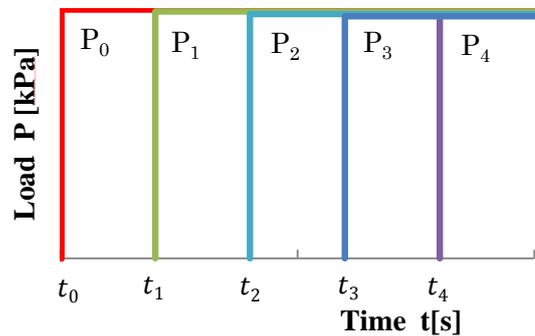


Fig.2 Applied load in time delay.

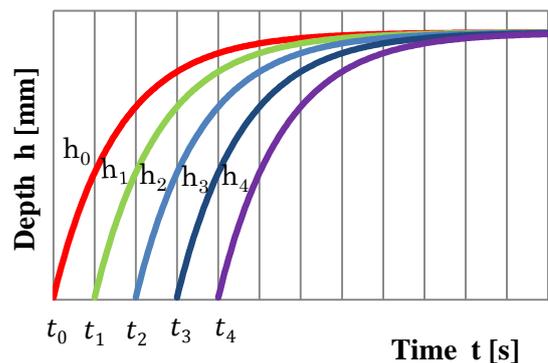


Fig.3 Dents depth curves by time delay.

動が現れるのが知られている<sup>1)</sup>。

時間遅れによる負荷パターンを図 2 に示す。空気噴流を測定開始時間  $t_0$  から柔軟物表面に  $P_0$  なる圧力を負荷し続ける。その後時間  $t_1$  経てから  $P_1$  なる圧力を負荷する。更に時間  $t_2, t_3, t_4$  後に、 $P_2, P_3, P_4$  なる圧力を負荷する。その結果、柔軟物表面には、図 3 に示すように、負荷時間  $t_0 \sim t_4$  に対応したくぼみ深さ曲線  $h_0 \sim h_4$  が現われる。

ここで、測定開始時間  $t_0$  から空気噴流  $P_0$  を吹き付け、時間  $t_1$  後に噴流を止める。これは、現象的には負荷を除いたことであるが、力学的には  $-P_0$  の荷重を加えたことである。更に時間  $t_2$  後に負荷、時間  $t_3$  に除荷、 $t_4$  後に負荷のように、繰返し試験を行う。その結果、繰返し負荷と除荷に対応したくぼみ曲線は、

$$h = h_0 - h_1 + h_2 - h_3 + h_4 \quad (1)$$

になり、図 4 に示すように、負荷時間  $t_0 \sim t_4$  に対応したくぼみ深さ曲線が現われる。

#### 4. 実験結果

図 5 にはクリープ試験および繰返し試験によるスライムのくぼみ深さの変化を示した。クリープ試験によるスライムのくぼみ深さ挙動は、約 100 秒まで単調増加し、その後収束する。そのときのくぼみ深さは 11.1 mm であった。クリープ曲線の実験式を式 (2) で示す。

$$h = a(1 - e^{-bt}) + c \quad (2)$$

ここで、 $h$  はくぼみ深さ、 $t$  は負荷時間、 $a, b$ , 及び  $c$  は係数となる。図 5 の  $h$  は

$$h = 11.1(1 - e^{-0.0032t}) + 0.1 \quad (3)$$

式 (3) は、スライムのもつ物性値である。このスライムに負荷時間と除荷時間を 10 秒間に設定すると、図 5 に示している実線が測定結果であるが、式 (3) に負荷と除荷の時間を 10 秒として代入すると、重ね合わせの原理により破線で示した繰返し曲線が得られ、こ

れらはほぼ一致している。従って、柔軟物のクリープ挙動が知り得て、負荷された圧力と時間が既知であれば、柔軟物の繰返し特性を知ることができる。なお、図 5 の点線は繰返し挙動の包絡線を示す。

#### 5. 結言

スライムの測定値と計算値を比較した結果、以下の知見が得られた。

- (1) 空気噴流をスライム表面に吹き付けてクリープ曲線を求めることができる。
- (2) クリープ曲線は単調増加し、その後収束する。
- (3) 実験式を、重ね合わせの原理を用いて計算すると、測定値に近い値を求めることができる。

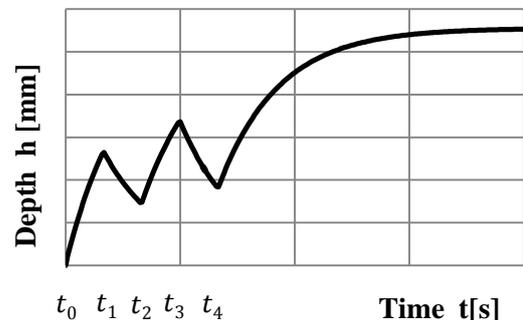


Fig.4 Cyclic curve of dents depth.

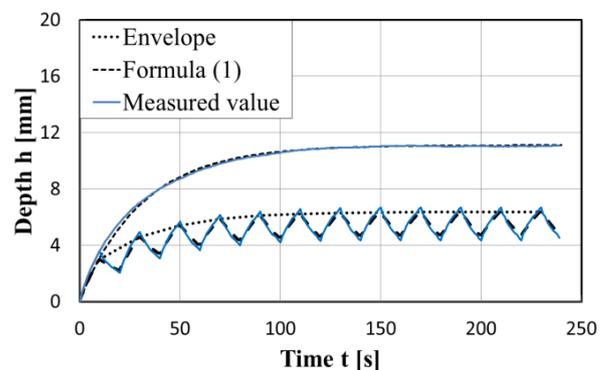


Fig.5 Comparison of measured value and formula.

#### 参考文献

- 1) 横田, 長尾, 中村, “繰返し低負荷クリープ試験による柔軟物のくぼみ深さ特性”, 圧力技術, Vol. 53, No. 6, pp. 303-310 (2015)
- 2) 長尾, 望月, 西本, 横田, “空気噴流による柔軟物の粘弾性特性”, 日本機械学会論文集 A 編 Vol.79, No.802 (2012) pp.769-773.