

# 柔軟物表面に現れたくぼみ変形の記憶現象に関する研究

○横田 理(日大工・機械)

長尾光雄(日大工・機械)

## 1. 緒言

一定の荷重のもとで、粘弾性体の変形が時間とともに変化していくクリープ現象、およびリラクゼーション現象あるいはクリープ回復現象は、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性質を示す。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のシステム、および材料変形を瞬時に計測できるシステムの構築が必要になる。しかし、従来の試験方法は固体を荷重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重要である。

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り、そのクリープおよびその回復挙動の記憶現象<sup>(1)</sup>について調べた。

## 2. 測定原理

柔軟物表面に発生したくぼみ深さの測定原理を図1に示す。柔軟物表面に空気噴流を吹き付けると、噴流圧力により柔軟物の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. 実験結果

図2には、人肌ゲル表面のくぼみ深さのクリープ挙動とその回復挙動を示す。負荷と除荷の保持時間は1 s、1サイクルを2秒とした波形である。

図2(a)は、繰り返し圧力を60 kPaと0 kPaに設

定した。くぼみ深さを示す図2(b)は、負荷サイクルに対応して、くぼみ深さは一定で、ほぼ同じ繰り返しパターンが得られた。しかし、負荷直後、および回復直後の波形は矩形波ではなく、非線形的な波形を示した。すなわち、人肌ゲルは、瞬間弾性変形と遅延弾性変形を併せ持つが、粘性流動は現われてない。図3には、負荷と除荷の繰り返し試験に対するスライムのくぼみ深さのクリープ

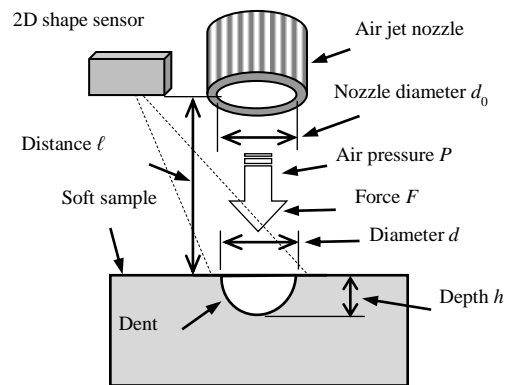
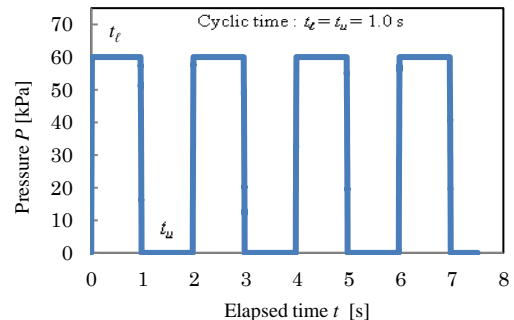
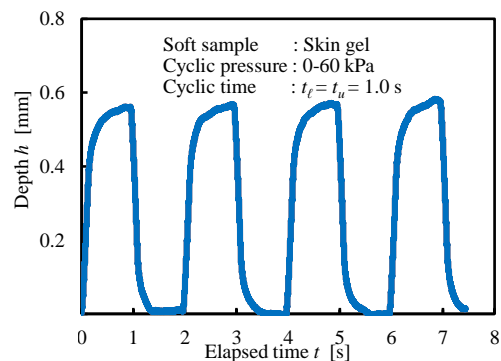


Fig.1 Measurement principle.



(a) Cyclic loading pattern at constant pressure.



(b) Creep and creep recovery of dent depth.  
Fig.2 Viscoelasticity property obtained by cyclic loading pattern (Skin gel).

挙動とその回復挙動を示した。なお、スライムは比較的軟らかい柔軟物のため、矩形波の繰り返し負荷パターンを最大圧力 20 kPa、最小圧力 0 kPa として、負荷と除荷の時間を  $t_\ell = t_u = 1$  秒の場合を示した。このときのスライムは、人肌ゲルの場合とは異なり、繰り返し負荷されることによりくぼみ深さは増加するが、次第に飽和に達する傾向にある。すなわち、1 次サイクルで生成されたくぼみ深さは、2 次サイクルではさらに深くなり、3 次、4 次サイクルと繰り返しが行われると、その深さは徐々に深くなるので、スライムは瞬間弾性変形、遅延弾性変形、および粘性流動変形が明確に現われている。したがって、人肌ゲルとスライムでは、繰り返し負荷によるくぼみ深さの挙動は異なることが示された。

次に、静的粘弾性の測定は、粘弾性体に荷重を与え、その変形量を観測する形で行われる。ここで、くぼみ深さの記憶現象が成り立つには、次の 3 項目を証明することである。現在のくぼみ深さが大きくなるのは、(1) 初めに加えた圧力が大きいとき、(2) 負荷した時間が長いほど、(3) くぼみ変形を受けて、次のくぼみ変形を受けるまでに時間が短いほど、の 3 つの現象である。ノズル圧力を 20kPa 及び 40kPa として、20 秒間のエアジェットをスライム表面に吹き付けた後、直ちに 20 秒間の吹き付けを止める。そのときの結果を図 4 に示す。図 4 より、20kPa の場合よりも 40kPa の方がくぼみの深さ曲線は大きく現れている。20 秒間のクリープ負荷では、瞬時にくぼみは曲線 OA なる深さが生成され、その後くぼみは徐々に A から B のように深くなる。荷重を除去すると、その深さは B から C のように急激に減少し、その後くぼみは徐々に減少し、C から D のように変化する。現在のくぼみ深さが大きくなるのは、① 20kPa よりも 40kPa の方である。② 加えた時間は OA' よりも OB' の方が長いので、くぼみ深さ

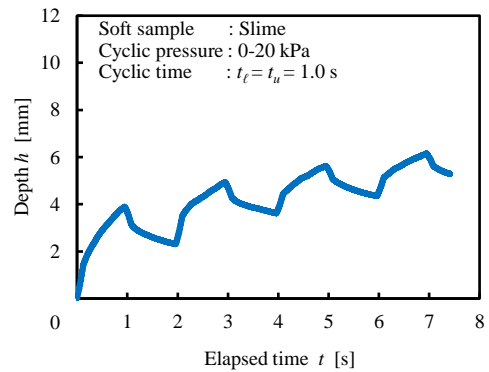


Fig.3 Viscoelasticity property obtained by cyclic step loading pattern (Slime).

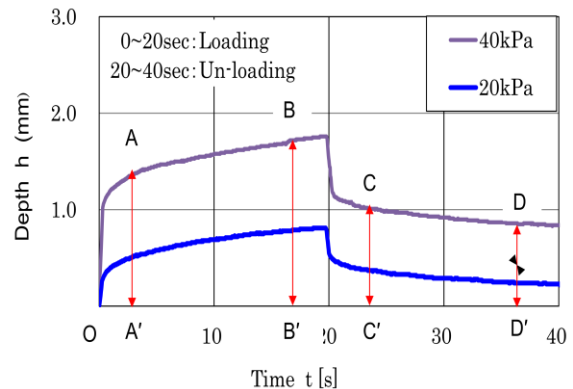


Fig.4 Viscoelasticity property obtained by monotonic step loading pattern (Slime).

は AA' よりも BB' の方が大きい。③以前に変形を受けたときから、次の変形を受けるまでに経過した時間、すなわち除荷し始めた 20 秒後からの時間経過が短いほどくぼみ深さは大きい。すなわち DD' よりも CC' の方がくぼみは深い。すなわち、①、②、および③より、スライムは記憶現象を検証できたが、人肌ゲルは記憶現象を有しない。なお、②と③の連続測定は、エアジェットにより瞬時の負荷・除荷が可能で、および瞬時のくぼみ計測が可能で、これが本装置の特長である。

#### 4. 結 言

- (1) スライムは記憶現象を有し、繰り返し数とともにくぼみ形状は大きくなる。
- (2) 人肌ゲルは記憶現象を有しない。

参考文献 (1) 横田, 長尾, 高木: 繰り返しエアジェット下に現れる柔軟物のくぼみ特性, 日本材料学会, 第 66 期学術講演会 (2017 年 5 月 28 日)