

要旨

光造形法において、モデル精度低下の主な要因として、モデルの変形があげられる。これは内部応力が、主たる原因と考えられている。本報では、収縮量、収縮力の測定をリアルタイムに行うことの可能な装置を開発した。その精度検証を行うとともに、造形中の1ライン硬化物に生じる収縮量、収縮力の時間変化を測定することで、装置の有用性を示した。

1. 緒言

光造形法における変形は、モデルの片持ち梁部における反り、薄肉部における引け、といった形で現れる。これらは、モデル精度低下として大きな問題となっている。この主たる原因である内部応力は、樹脂の硬化収縮が各層との接合や不均一な硬化などによって拘束された結果、発生したものと考えられる。変形低減のためには、内部応力を制御できればよい。現在その手法としては、照射パターン、造形条件等を変えて、層形成時、積層時に内部応力をキャンセルあるいは、減少するように造形する方法がとられている。しかし、これらの条件は経験に頼ることが多い。

本研究では、内部応力と、それによって生じるひずみの時間的変化を定量的に求めることができれば、変形低減のための各種手法に対し、有用な情報を与えることができると考え、上記測定のための装置を開発した。

2. 測定装置

2つの測定系でそれぞれ固定端を設け、1ライン硬化物の一端を付着させる。それと反対の端を測定対象とし、以下に示す方法でひずみ、応力を測定する。

2. 1 収縮量のリアルタイム測定

収縮量測定は、測定系の拘束力が誤差の主な原因となる。本装置では、可能な限り無拘束に近い状態とした。図1に収縮量測定の原理を示す。測定部に強磁性体の針を配置する。固定端と測定部をつなぐようにレーザーを照射し、線状の硬化物を造形する。針は樹脂の収縮に伴って移動し、その変位を、針側の容器側面に配置した渦電流式変位センサを用い測定する。このセンサが誤動作しないように、容器及びセンサ周辺部を、磁気の影響を受けない素材で構成する。

2. 2 収縮力のリアルタイム測定

収縮力測定は、収縮量のデータと対応した値が得られる。そのため、ヤング率の時間変化が測定できる。図2に収縮力測定の原理を示す。収縮量測定での針の代わりに力センサの端子を配置し、収縮力の時間変化を測定する。

2. 3 硬化断面積の測定

硬化断面積は、収縮力から応力を求める場合に必

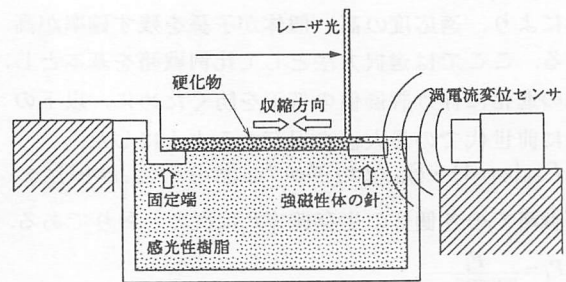


図1 収縮量リアルタイム測定原理

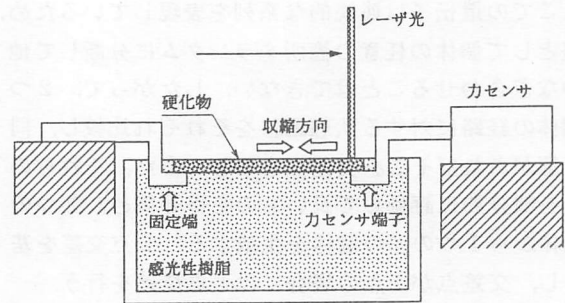


図2 収縮力リアルタイム測定原理

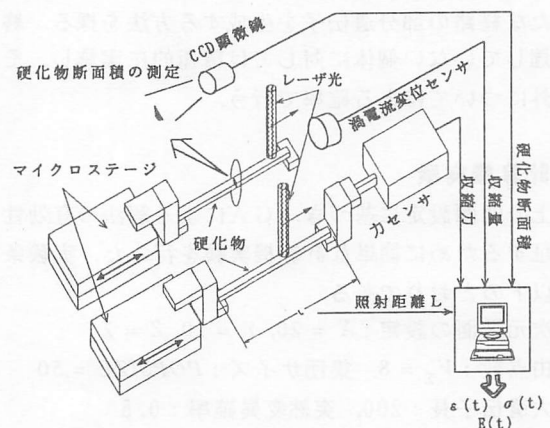


図3 装置構成図

要となる。その測定の手順は、まずリアルタイム測定の終了した後に、収縮量測定側の硬化物を樹脂容器から取り出し、試料を走査方向と垂直に切断する。その断面をCCDカメラで撮影し、2値化によって輪郭の内と外を区別し、輪郭内側のドット数($4.6 \times 10^{-6} \text{ mm}^2/\text{ドット}$)をカウントすることによって求めた。

2. 4 装置構成

図3に装置構成図を示す。各センサからのアナログ出力を、A/D変換し計算機に取り込む。ひずみ ϵ を求めるには、端子間の距離の値が必要である。この距離は、マイクロステージに取り付けた固定端の移動によって、0~50mmの範囲で任意に設定できる。

3. 精度検証

3. 1 収縮量測定精度の検討

収縮量測定に関して、変位とセンサ出力電圧値との線形性と、センサ電圧の変動による誤差を検討した。ホチキス3号針を、マイクロステージに固定した治具(アクリル製)に取り付け、センサ面に垂直な方向へ変位させ、そのときの電圧値を測定した。その結果、この装置構成では0~3mm程度まで線形性が維持されている。また、センサ出力の変動から、収縮量の分解能 $1.1 \times 10^{-2} \text{ mm}$ が算出された。

3. 2 収縮力測定精度の検討

収縮力測定に関しては、力とセンサ電圧値との線形性を検討した。センサ端子に校正済みの荷重計により荷重を加え、そのときの電圧値を測定した。その結果、この装置構成では0~12gf程度まで線形性が維持されている。またセンサ出力の変動から、力検出の分解能 $9.4 \times 10^{-4} \text{ N}$ (0.096gf)が算出された。

4. 実験

光造形装置はSony社製JSC2000、紫外線レーザーはCOHERENT社製INNOVA90-6を用いた。表1に実験条件を示す。

樹脂	6種類	ウレタンアクリレート系, 1,6-ヘキサンジオール系, アクリレート系 (各2種類)
パワー	3種類	100, 110, 120mW
走査速度	3種類	34, 101, 175mm/s
測定時間	1種類	40sec
端子間距離	1種類	25mm
測定点数	1種類	750点

表1 実験条件

5. 実験結果と考察

ひずみ、応力の時間変化の例を図4に示す。ここに示したグラフは、ウレタンアクリレート系樹脂に、パワー120mWのレーザー光を、走査速度を34mm/sで照射したものである。このときの断面積は 0.540 mm^2 であった。このグラフより、ひずみ ϵ は10sまで急激に、その後はゆっくりと増加している。応力 σ は10s~35sでほぼ一定になった後、徐々に低下している。

ひずみと応力の比である、ヤング率 E を図5に示す。

これは、応力と同様の傾向がみられ、ヤング率の低下から部材が柔らかい材質に変化したことがわかる。

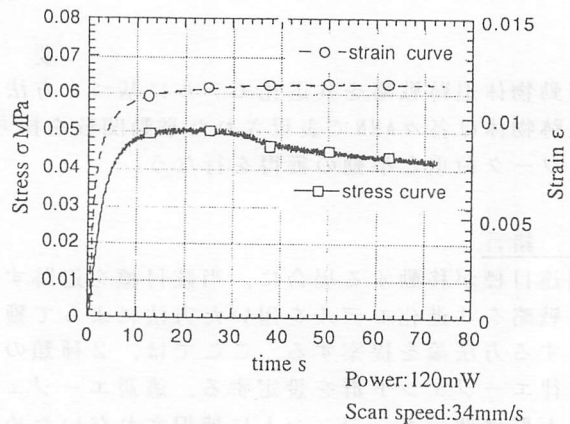


図4 ひずみ ϵ 、応力 σ の時間変化

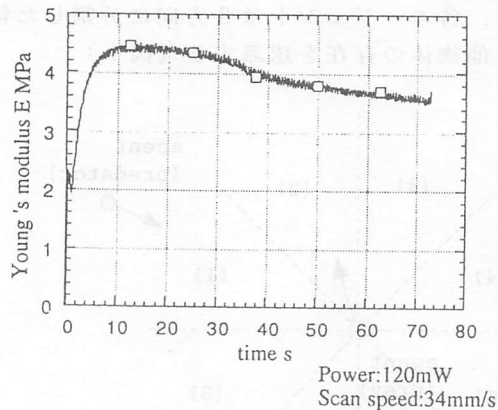


図5 ヤング率 $E(t) = \sigma(t) / \epsilon(t)$ の時間変化

6. 結論

- 1) 収縮量、収縮力のリアルタイム測定を行うことのできる装置を開発し、収縮量の分解能 $1.1 \times 10^{-2} \text{ mm}$ 、力検出の分解能 $9.4 \times 10^{-4} \text{ N}$ (0.096gf)の測定精度を持つことが分かった。
- 2) 1ライン造形物に生じる収縮量、収縮力を測定した結果、ひずみ ϵ は10sまで急激に、その後はゆっくりと増加し、応力 σ は10s~35sでほぼ一定になった後、徐々に低下することがわかった。

参考文献

- 1) 足立光明他: 光造形における収縮現象のリアルタイム測定の試み、1994年度精密工学秋季大会学術講演会講演論文集(1994)、p631-632.
- 2) 榎原弘之他: 光造形レジンの応力・ひずみ特性のリアルタイム測定、第8回レゾナント・フォトニクスシンポジウム(1995)、p22-27.