

光造形システムによる樹脂模型の形状測定 (第2報)

— 光造形システムによる複雑形状部品の一品生産に関する研究 —

船田 昌
機械電子部

Shape Measuring of Resin Models from Laser Stereolithography (Part 2) -Application of Laser Stereolithography System to Mono Production of Complex-Shape Parts-

Masashi FUNADA
Mechanics & Electronics Division

要旨

平成8年度は、光造形システムで製作した階段状模型(厚さ2.4mm, 中空模型)の形状測定を行い、平面部の変形の状態を把握する事ができた。今年度は、高精度の樹脂模型の製作のため、変形防止リブ入りの階段状樹脂模型の形状測定及び造形後の形状の経時変化測定を行い、変形抑制に対するリブの効果の確認した。また、樹脂模型の変形防止のためリブ構造を検討するための基礎実験として、一辺が10mm, 20mm, 30mmの立方体形状の樹脂模型を作製し、形状測定及び形状の経時変化の測定を行い、リブ間隔の最適値を求めた。

1. 緒言

光造形システムにより造形された樹脂模型は、樹脂の硬化の過程において収縮し、反りなどの変形を生じる。この変形の度合は、模型の構造、造形条件、造形後の模型の保管状態などにより大きく変わる。

樹脂模型を精密鑄造の消失模型として使用する場合、焼成時の型の割れ防止などのためには、使用する樹脂の量を少なくする事が有効である。このためには、模型の肉厚を薄くする必要があるが、肉厚を薄くすると模型が変形しやすくなる。この対策として模型のリブ構造が考えられる。

そこで、平成8年度に光造形システムで製作した階段状模型と同形状で、肉厚が薄く、リブを追加した模型を作製し、形状測定を行う事により、変形抑制に対するリブの効果の確認を行った。

また、模型にリブを追加する場合、模型の変形量と型の割れ等に影響する樹脂量(リブの数)を考慮し、最適な模型構造にしなければならない。そこで、リブ構造を検討するために、一辺が10mm, 20mm, 30mmの立方体形状の樹脂模型を作製し、それぞれの形状測定を行い、立方体のサイズと変形量の関係を明確にした。

造形後の樹脂模型については、光硬化樹脂の暗反応等により変形が進行する事が知られている。樹脂模型を精密鑄造の消失模型として使用する場合、造形終了から型製作まで、模型を保管する事が考えられる。そのため、高精度の鑄造品の製作のためには、造形後の模型の形状

の経時変化を把握する必要がある。そこで、前述の測定に関して造形後3~5日について経時変化を明確にする測定を行った。

2. 造形条件及び測定条件

2.1 造形装置及び造形条件

造形装置名及び造形条件をTable 1に示す。

造形に使用した装置は、LD励起固体ブルーレーザを使用し可視光硬化性樹脂を硬化させる方式であり、ブルーレーザは造形ベースの下方から照射させ積層する引き上げ造形方式である。

Table 1 造形装置及び造形条件

造形装置名	DENKEN SLP-5000
造形条件	
引き上げピッチ	0.2mm
スキヤン方式	シングル / 一部クロス
スキヤンスピード	100mm/s
スキヤン形式	ラスター / ベクター
ラスターピッチ	0.2mm
薄液コントロール	有り

2.2 模型形状及び設定座標系

2.2.1 階段状模型

Fig. 1 に階段状模型の全体形状及びリブ構造の概略図、Fig. 2 に測定時に設定した座標系を示す。全体形状は、

平成8年度に造形した階段状模型と同形状である。模型の肉厚は水平面 1.5mm, 垂直面 1mmである。樹脂模型は、造形ベースから切り離す前、屋外（曇り）に約30分放置し、その後は精密測定室（室温 $20 \pm 1^\circ\text{C}$, 湿度50%）において箱の中で保管した。積層の方向は、XY平面に平行でZ軸の-から+の方向で行った。

測定時の基準平面は、Fig.2 の第1平面部の四隅の点（●部）にて設定した。

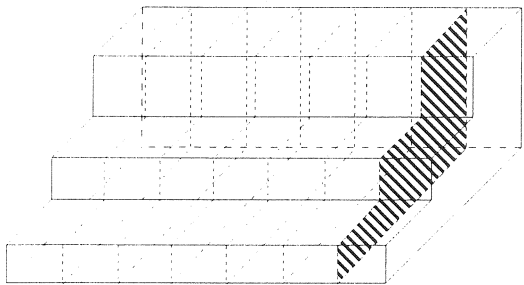


Fig. 1 リブ構造の概略図

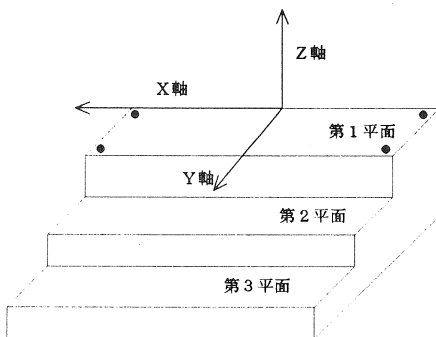


Fig. 2 模型形状及び設定座標系

2.2.2 立方体模型

測定時の座標系をFig.3 に示す。模型は、一辺10mm, 20mm, 30mm, 上面肉厚 1.5mm, 側面肉厚 1mmの中空の立方体形状模型である。造形後は、測定時を除き精密測定室内の箱中で保管した。

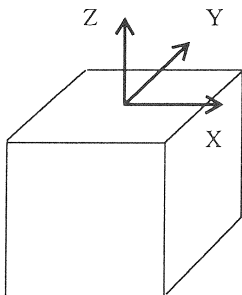


Fig. 3 立方体模型設定座標系

また、光造形模型は、レーザーの照射に垂直な面におい

て造形上の理由により肉厚が設計値より厚くなる。そのため、今回の模型についても設計値 1mmの上面肉厚に対して実寸肉厚 1.5mmとなっている。そこで、造形条件の変更により上面が実寸肉厚 1mmの立方体模型も作製し測定を行った。

2.3 測定部位及び測定方法

2.3.1 階段状模型

平成8年度に行った測定部位と同じFig.1 中の第1平面, 第2平面, 第3平面部についての形状測定を行い、設計値との比較を行った。

測定は、各平面を3分割するY座標において、三次元測定機の微いプローブをX軸+方向に走査させ、測定値は得られたデータをX軸方向に定ピッチ処理した値を使用した。

樹脂模型の経時変化測定は、造形日からの3日間及び5日目に行った。

2.3.2 立方体模型

肉厚 1.5mmの立方体模型の測定部位は、上面及び前後左右の側面の5平面に対し、端から 1mm残して5等分した $5 \times 5 = 25$ 点とした。各模型の測定部位の座標値をTable 2 に示す。模型の経時変化測定は、造形日から連続5日間/24時間毎に行った。

Table 2 測定座標値 単位 (mm)

	上面のX, Y座標値	側面のZ座標値
10mm模型	-4, -2, 0, 2, 4	-1, -3, -5, -7, -9
20mm模型	-9, -4.5, 0, 4.5, 9	-1, -5.5, -10, -14.5, -19
30mm模型	-14, -7, 0, 7, 14	-1, -8, -15, -22, -29

3. 測定結果及び考察

3.1 階段状模型

Fig. 4(a), (b), (c)に造形当日における各平面部の測定結果を示す。第1平面部, 第2平面部, 第3平面部の設計値は、それぞれ図中の $Z = 0, -10, -15\text{mm}$ で区切られた平面である。各平面ともリブの部分に盛り上がりがあり、中空模型で見られた平面の変形（くぼみ）が抑制されている事が確認された。第1平面部の変形量の絶対値も、中空模型の $120\mu\text{m}$ から $60\mu\text{m}$ と縮小した。また、中空模型で見られた第2, 第3平面部の湾曲状の変形が抑制されている事も確認された。これは、模型内部のリブの効果と考えられる。

Fig. 5 に各平面中央部 ($X = 0\text{mm}$) の偏差及び経時変化を示す。Fig. 4 にも見られる様に、中空模型と比較した場合、第2, 第3平面の傾斜は大きくなっていた。傾斜は、1日目で最大になり、その後減少している。これは、直接日光を当てた模型表面と模型の内側及び内部の

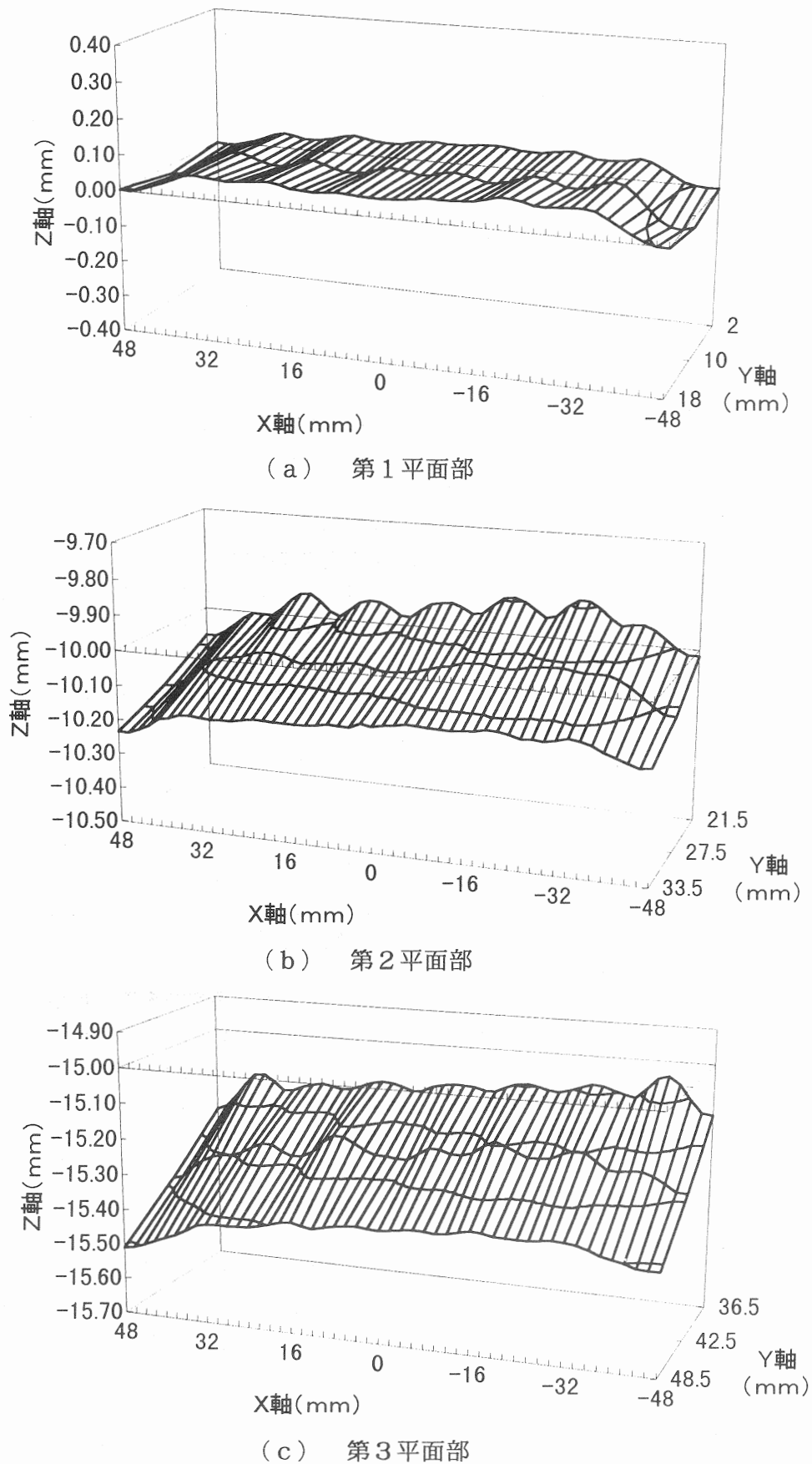


Fig.4 平面部測定結果 (造形当日)

リブ（直接光が当たらない部分）との間に硬化反応速度の違いが生じるため、階段状模型の平面部の傾斜を増加させる模型表面部の収縮の変形に対して、傾斜を戻す方向に働くリブの反り変形が、遅れて進行した事が原因と考えられる。また、内部に残った未硬化樹脂の硬化が遅れる事も要因としてあげられる。

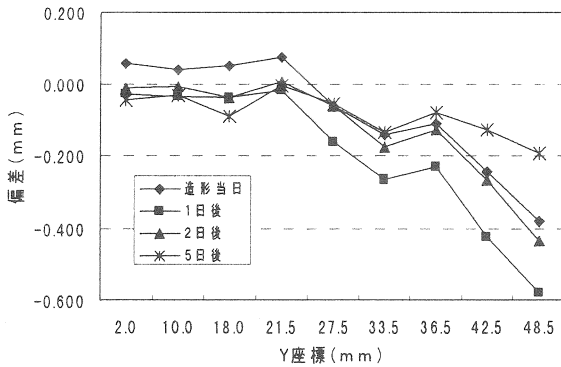


Fig. 5 各平面中央部 (X = 0 mm) の偏差及び経時変化

3.2 立方体模型

3.2.1 上面肉厚 1.5mmの立方体模型

Fig. 6 に10mm立方体模型の上面の測定結果を示す。中央が窪んだ形状になっているが、これは積層による反り変形と考えられる。この傾向は、20mm模型、30mm模型においても確認された。

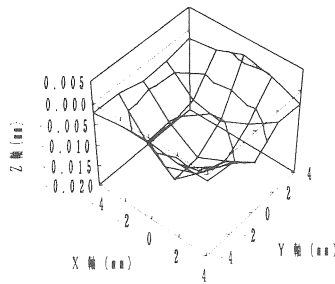


Fig. 6 10mm立方体模型上面測定結果

Fig. 7 に10mm, 20mm, 30mm模型の上面中央部の偏差及び経時変化を示す。10mm模型では、偏差が20 μ m以下である事が確認された。また、30mm模型では、偏差が300 μ mで、造形日以後変形が進行している事が確認された。

Fig. 8 (a)~(c)に各立方体模型の側面中央の断面における各座標の測定値の偏差合計及び経時変化を示す。10mm模型は全体的に150 μ m程大きい事が確認されたが、経時変化は見られなかった。

20mm, 30mm模型に関しては、側面は窪んでいる傾向が見られた。経時変化に関しては、周辺部は大きくなり、中央になるに従って小さくなっていく傾向が確認された。これらは、積層順序による変形、レーザの走査方向

による変形、光の当たり方による硬化速度の違いによる変形、密封された模型の内部の気体の温度低下による収縮変形などが要因と考えられる。

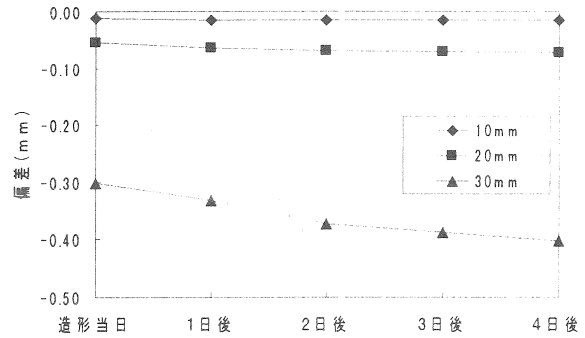
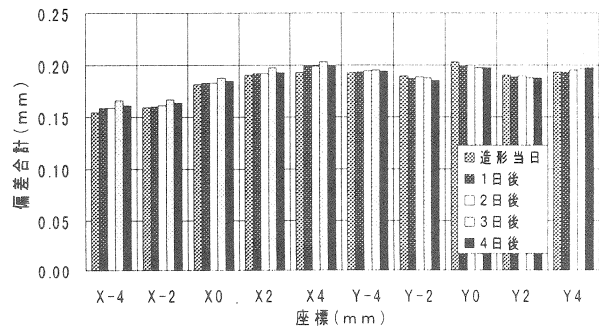
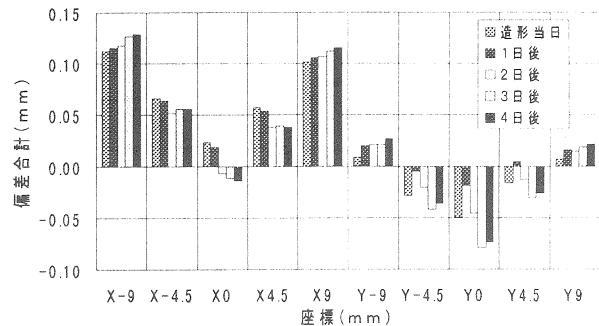


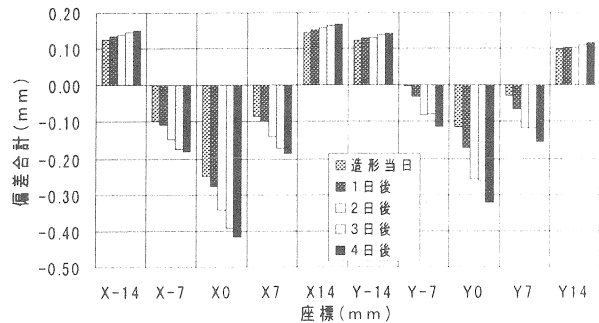
Fig. 7 立方体模型上面中央値測定結果



(a) 10mm模型Z=-5mm断面偏差合計推移



(b) 20mm模型Z=-10mm断面偏差合計推移



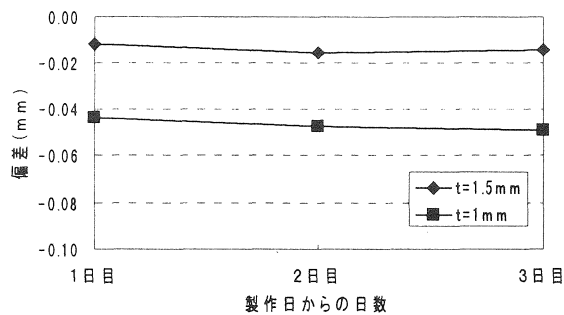
(c) 30mm模型Z=-15mm断面偏差合計推移

Fig. 8 側面中央測定値の偏差合計及び経時変化

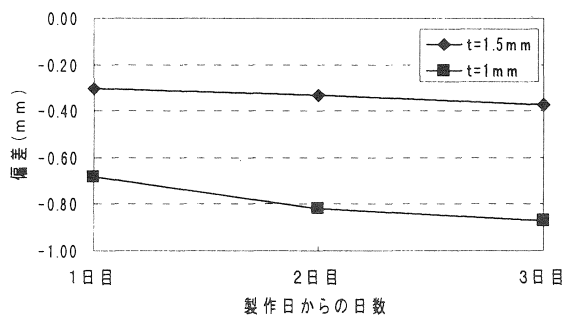
3.2.2 上面肉厚 1mmの立方体模型

Fig.9 (a), (b)に10mm, 30mmの立方体模型における上面中央部の偏差及び経時変化を示す。20mmの立方体模型については、表面の状態不良のため測定を行わなかった。10mm, 30mmの立方体模型のいずれの場合も、肉厚 1.5mmの模型に比べ上面肉厚 1mmの模型の方が偏差が2~3倍に大きくなっている事が確認された。上面肉厚 1mmの模型自体は、上面の剛性が低いものであり、剛性を向上させるためには、スキヤニングのスピードを遅くするなどの対策が必要である。

経時変化については、上面肉厚による差は見られなかった。



(a) 10mm模型



(b) 30mm模型

Fig.9 立方体模型の上面中央部の偏差及び経時変化

4. まとめ

リブ構造階段状模型及び立方体模型 (10mm, 20mm, 30mm) の形状測定を行い、以下の事が明らかになった。

- ①階段状模型のリブ構造により、第1平面の窪みの変形及び第2, 第3平面の湾曲の変形が抑制される事が確認された。
- ②階段状模型の第2, 第3平面の傾斜は、時間ともに小さくなっていく傾向にある。これは、造形後の模型の保存状況が影響している。
- ③立方体模型の測定結果より、樹脂模型の製作にあたり高い寸法精度が必要な場合、10mmピッチ以下のリブを追加する事が望ましい。

- ④上面肉厚 1mmの立方体模型の測定結果より、レーザーの照射に垂直な面の剛性を向上させるためには、スキヤニングのスピードを遅くするなどの対策が必要である。

付 録

今回、測定に使用した装置を以下に記す。

- ・CNC三次元測定機: Mitutoyo HYPER KN810
軸精度: $(1.5 + 1.5 \times L / 1000) \leq 2.5 \mu\text{m}$
※L: 2点間寸法(mm)
- ・触針プローブ : Mitutoyo MPP4