

光造形による中空モデルの作製手法

岩越 睦郎, 及川 雅念, 吉成 哲
中島 康博, 万城目 聡, 小林 政義

Making of a Hollow Model using Rapid Prototyping

Mutsuro IWASAKI, Masanori OIKAWA, Satoshi YOSHINARI
Yasuhiro NAKAJIMA, Akira MANJOUME, Masayoshi KOBAYASHI

キーワード：光造形, 鋳物, 消失型, 中空, CAD

1. はじめに

光造形（ラピッドプロトタイピング）¹⁾の利用により，従来の切削加工では難しかった複雑な形状でも簡単に造形が可能になった。しかし，薄肉形状でないソリッドモデルや鋳物製造における消失型としては効率的なモデルの作製手法が確立されてないために，造形時間のロスや鋳物型の破損等が生じていた。本研究では，それらの問題を解決する目的で，使用目的に適した形状安定性の高い中空モデルの作製手法を検討した。

2. 試験方法

2.1 光造形システム

試験に使用した光造形機を図1に，システム構成を図2に示す。

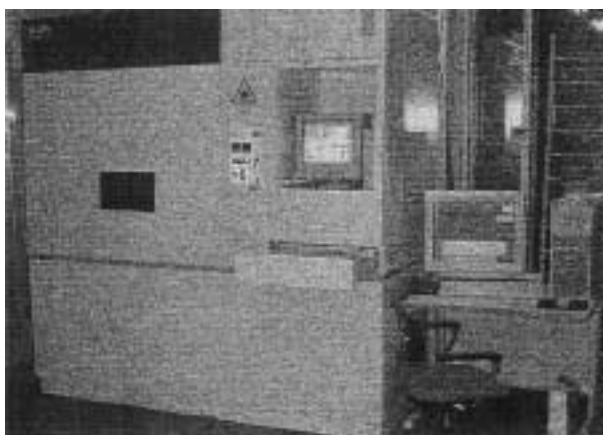


図-1 光造形機

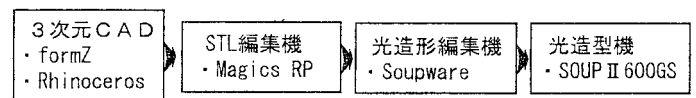


図-2 システム構成

3次元CADで作製したモデルのデータをSTL（面データ）に変換して，STL編集機でサポートを作製し，光造形編集機で中空モデルに設定後，造形条件を付加して光造形機を駆動させてモデルを造形するというシステム構成になっている。

2.2 使用樹脂

試験に使用した光造形用樹脂（アデカラスHS-680）の特性と硬化物性を表1に示す。

表1 光造形用樹脂の特性と硬化物性

特性	外観	淡黄色透明液体	
	粘度	380cps/25℃	
	比重	1.15/25℃	
硬化物性	引っ張り強度	800kgf/cm ²	
	引っ張り弾性率	23,800kgf/cm ²	
	破断伸び	6.7%	
	曲げ強度	1,000kgf/cm ²	
	曲げ弾性率	32,000kgf/cm ²	

2.3 中空モデルの設定

光造形編集機のModel Making TypeのShellにおいてモデルのShellの厚さを指定して中空モデルの造形設定を行う。Shellの内部は，CRUCIFORMで十字サポートのThick, Width, Pitch等の設定が行える。図3にCRUCIFORMの詳細な設定を示す。

事業名：応用試験

課題名：光造形によるプロトタイプモデルの作製手法

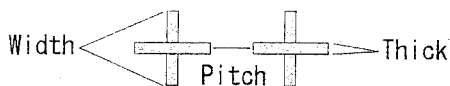


図3 CRUCIFORMの設定

2.4 造形時間とモデルの評価

2.4.1 造形時間の算出

ソリッドモデルと中空モデルのデータを光造形機のタイムシミュレーション機能を用いて積算する方法と実際に造形を行った時の積算造形時間で割り出した。

タイムシミュレーション機能とは、機能光造形編集機からのTRANSMITによりsdd（造形データ）データを光造形機本体の制御器にオフラインで送信して演算を行う機能である。タイムシミュレーション時の造形データの設定は表-2のとおりである。

表2 タイムシミュレーションの造形データの設定値

レーザー設定		CRUCIFORM		SHELL
Cure Dia	0.2	Thick	0.3	Shell Thick
Speed	800	Width	6.0	0.6
Pitch	0.15	Pitch	3.0	

(メーカーデフォルト値)

2.4.2 モデルの後処理と寸法精度の評価

モデルのSTLデータからソリッドモデルと中空モデルの設定を光造形編集機で行って、実際にソリッドモデルと中空モデル造形を個別に行った。造形が終了したモデルは装置から取り外し、後処理、養生を行って、造形物の外観形状や表面性状をノギス (CD-15CP)、マイクロメータ (TZ-SK10)、マイクロスコープ (KH-2400DP) で寸法測定して寸法精度を評価した。後処理、養生の一連の行程を表-3に示す。

表3 後処理、養生

後処理	樹脂抜き	ドリルで3mmφの穴を開け、中空モデルの内部の樹脂を抜く
	1次洗浄	メチルプロピレントリグリコールによる超音波洗浄
	2次洗浄	ラッカーシンナーによる洗浄
養生	1. 室温放置：24時間以上 2. 加温乾燥：50℃4時間 3. 恒温恒湿：(25℃-50%) 24時間以上	

3. 結果と考察

3.1 造形時間と寸法精度

3.1.1 タイムシミュレーションによる造形時間の比較

単純形状（四角柱）のモデルを3次元CAD (formZ) で作成して、外部サポートを付加しないデータSTLを光造形編集機に送り、表2に示した造形データの設定値でソリッドモデルと中空モデルの造形データを作成してタイムシミュレートした。形状寸法は、表4に示すようにx=10~100mm, y=

100mm, z=100mmとし、xを変化させた。また、モデルの配置はレーザーの駆動時間を算出する目的で、コータの移動距離と積層厚が同じようになるようにy, zを固定した。尚、タイムシミュレートでは液面調整時間は除外されているため、実際の造形時間より短くなる。

表4 単純形状モデルの造形時間

寸法(x×y×z(mm))	造形時間 (時間:分)	
	ソリッドモデル	中空モデル
100×100×100	27:28	11:32
50×100×100	15:25	8:01
25×100×100	9:23	6:23
10×100×100	5:45	5:19

表4の結果から、x寸法が10mmの場合はソリッド、中空で造形時間は大差ないが、x寸法が大きくなるに従い造形時間に差が生じ、中空モデルの優位が明らかとなった。従って、厚肉形状のモデルの場合は、中空構造が造形時間の短縮とランニングコストの削減に効果があると云える。

次に薄肉の単純形状として、肉厚を4mmとし、表5に示した造形データの設定値でソリッドモデルと中空モデルの造形データを作成し、タイムシミュレートした。形状寸法は、x=10~100mm, y=100mm, z=100mmである。

表5 薄肉形状のモデルの造形時間

(外寸) 寸法(x×y×z(mm))	造形時間 (時間:分)	
	ソリッドモデル	中空モデル
100×100×100	10:54	11:44
50×100×100	8:16	9:26
25×100×100	6:58	7:54
10×100×100	6:10	6:55

(肉厚：4mm)

表5に示すとおり、ソリッドモデルに比べ、中空モデルの方が造形時間が長くなった。この結果より薄肉形状のモデルの場合は、中空による造形時間の短縮効果が期待できないことが分かる。中空モデルがソリッド部分の体積が小さいにもかかわらず造形時間が長かったのは、中空モデルのレーザーの駆動軌跡が複雑で、レーザーの設定切り替えに要する時間ロスが加わったためと考えられる。

3.1.2 試作による造形時間と寸法精度の比較

コンクリートブロックのスケールモデルの3次元データを用いて、実際に試作して造形時間を比較した。造形データの設定値を表6に示す。

表6 スケールモデルの造形データの設定値

レーザー設定		CRUCIFORM		SHELL
Cure Dia	0.2	Thick	0.5	Shell Thick
Speed	566	Width	4.0	0.8
Pitch	0.15	Pitch	2.5	

表2のタイムシミュレーションの造形データの設定値とス

ケールモデルの造形データの設定値が異なるのは、レーザーの出力パワーの違いと試作モデルの55×100×40(mm)と小さいサイズであることを考慮したことによる。

ソリッドモデルの試作モデルを図4に、中空モデルの試作モデル図-5に示す。

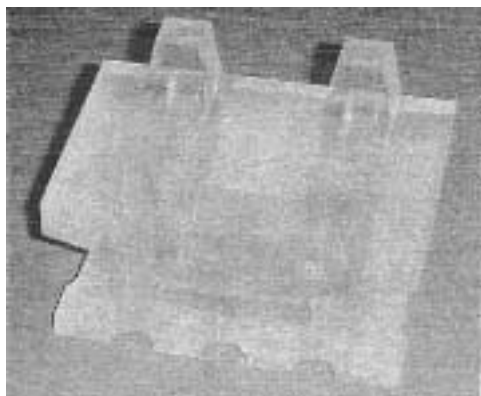


図4 ソリッドモデル

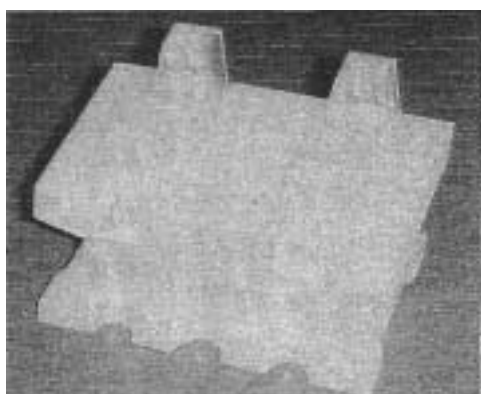


図5 中空モデル

試作では、各モデルを2個ずつコーターに対して並列に並べて、造形時間と寸法精度を調べた。

造形時間では、ソリッドモデルが18時間21分、中空モデルが16時間13分で、中空モデルが2時間8分短くなっていることから、モデルを中空にすることにより造形時間の短縮効果があることが分かった。

表7にモデルのx, y, zの定点のCADデータとソリッドモデル、中空モデルの実測値との比較値を示す。

表7 CADデータと実測値の比較値

	CAD	ソリッドモデル	中空モデル
x	50.00	49.93	50.19
y	100.00	99.70	100.24
z	35.00	34.99	35.36

(単位: mm)

表7から、CADデータとソリッドモデルでは、ソリッドモデルが寸法が小さくなっている。又、中空モデルでは、

反対に寸法が大きくなっている。この理由は、樹脂の収縮の影響によるものと考えられる。光造形編集機では、一般的な造形の設定(肉厚: 3mm)として、CADデータより少し大きく造形するようにデフォルト値で設定されている。これは、予め、光造形樹脂の収縮を考慮したものであるが、今回の試作のようにデフォルト値に比べ、極端な厚肉、薄肉の場合は、デフォルト値より樹脂の収縮値が大きく離れる。従って、このような場合は、寸法変化を計算に入れた造形の設定(リスケール設定)が必要であると考えられる。

3.2 薄肉中空構造のモデルの試作

薄肉形状のモデルを中空構造にする場合、モデルのShellの厚さとShellの内部のCRUCIFORMの設定が重要な問題になる。モデルには外皮として2枚のShellが必要であるために、モデルの肉厚の1/2以下の厚みの設定となるが、Shell内部の空間が少なと造形後の樹脂抜きが困難になることが考えられる。そこで、肉厚5mmのモデルを用いて、ShellとCRUCIFORMの設定を変えて適切な設定手法を検討した。試作の中で形状安定性と樹脂抜きが良好だったモデルの造形データの設定値を表8に、試作モデルを図-6に示す。

表8 薄肉中空モデルの造形データの設定値

レーザー設定	CRUCIFORM	SHELL
Cure Dia 0.2	Thick 0.5	Shell Thick
Speed 566	Width 2.0	1.8
Pitch 0.15	Pitch 2.0	

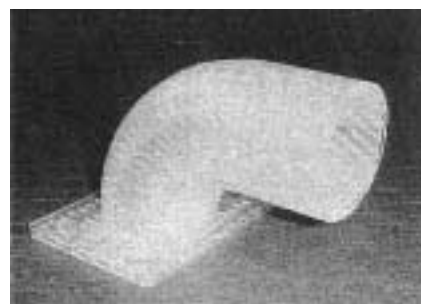


図6 薄肉中空の試作モデル

Shell Thickが0.6mm以下の場合、指圧でも変形を起こす程度のShell強度で、形状安定性がなかった。真空注型用²⁾のマスターモデルとして使用するには1mm程度のShell厚が必要であると考えられる。

又、WidthがShellの内部肉厚より大きい設定の場合は、内部が分割化された状態が生じて、樹脂抜き穴が多数必要になった。このことによりWidthの設定はShellの内部肉厚より小さい設定にする必要がある。

図7にShellと十字サポートのマイクロスコープによる拡大図を示す。

表6に示した設定のモデルの内部は、図7に示したとおり、Shell内部の十字サポートは、外側のShellに等間隔で貫通し

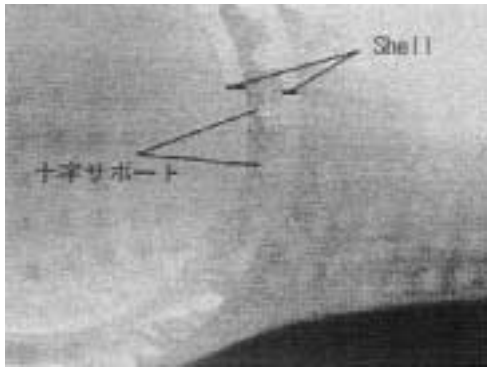


図7 Shellと十字サポート

てShellの安定性を保っている。又、Shellと十字サポートの空間は大きく、自然流出で樹脂抜きができた。

図8に肉厚3mmのモデルを示す。

このモデルのShell内部厚は1.2mmである。自然流出による樹脂抜きができなかったため、注射器（プラスチックシリンジ25ml）を樹脂抜き穴に挿入して樹脂を抜き取った。このように、内部空間が狭くなる場合は、加圧か、減圧による強制的な樹脂抜きが必要である。

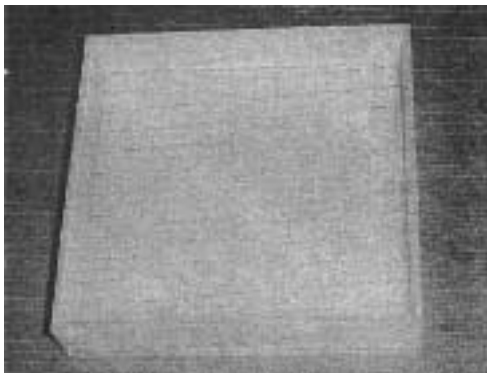


図8 肉厚3mmの中空モデル

スムーズな樹脂抜きを行うには少なくとも2mm程度のShell内部の空間が必要であると考えられる。

4. まとめ

光造形法は、短時間で経済的なモデル作製ができることから試作関連での普及が多くなっている。モデルの作製手法、応用技術を確認することにより更に合理的な使用方法が期待される。試験の結果をまとめると次のようになる。

- ①厚肉形状のモデル（肉厚：10mm以上）は、中空構造による造形が造形時間の短縮とランニングコストの削減ができるが、薄肉形状のモデルの場合は期待できない。
- ②造形モデルの寸法精度は樹脂の収縮の影響があるので、ソリッド部分の体積を考慮した造形サイズの編集が必要である。

③中空モデルを真空注型用マスターモデルとして使用するには、Shell厚は0.8mm以上必要である。

④中空モデルのShell内部の肉厚が1.2mm以下の場合、加圧か、減圧による強制的な樹脂抜き操作が必要である。

文 献

- 1) 早野誠治, プラスチック成形技術, 4, 1994
- 2) 高見正光, プラスチック成形技術, 11, 1994