K6-78

3D プリンターでの材料の熱挙動に関する基礎的研究

Foundational Research on Thermal Behaviors of Materials Processed Through 3D Printing

○足立隆光[1]，名波則路[2]，星野倫彦[2]
*Takamitsu Adachi[1], Norimichi Nananmi[2], Michihiko Hoshino[2]

Abstract: Additive manufacturing is an emerging 3D modeling technology that seeks smart, efficient, and easy manufacturing systems. It is the creation of a part by adding layer upon layer of materials based on CAD data, usually involving some heat source, until the process is completed. A 3D printer represents the machinery of additive manufacturing, and this technology attracts a lot of attention from professionals as well as general consumers. However, it is well known that the thermal stresses and deflections for a part molded by a 3D printer are exposed since bonding a melting layer and solidified layer causes thermal expansion and contraction. Therefore, it is of significant important to understand the effect of a heat source on a part. In this paper, we computationally and experimentally investigate the effect of 3D printing heat source on the deformation of parts. It was demonstrated that the parts were shrunk in the in-plane direction shrinkage by 2.8 %. The optimal mesh size for computational simulations was determined.

１．序論

付加加工では，効率的かつ柔軟な生産システムの構築と従来の加工法では困難な複雑形状物の製作の実現が期待できるので，その革新的な加工法に近年注目が集まっている．付加加工は従来の加工法である除去加工（切削，研削等）や塑性加工（鋳造，鍛造等）とは異なり，材料を付け足していくことで立体物を造形する方法で，除去加工とは対照的なものである[1]．この加工法を用いる装置は，一般には 3D プリンターとして知られており，1 層ごとに材料を溶かして接合させるプロセスを造形が完成するまで繰り返すので，熱変形が造形精度に影響を及ぼし，ひび，割れといった欠陥が発生することもある[2]．したがって，高精度な付加加工を実現するためには，熱源による造形物の形状寸法への影響を明らかにすることが非常に重要である．

本研究では，造形物を実際に製作して，3D プリンターでの造形時の熱影響を調査する．同時に，造形物の温度分布を推定する数値解析モデルの確立を試みる．

２．3Dプリンター技術

3D プリンターは, コンピュータ上で作成した 3 次元形状データを積層高さごとで区切った，スライスデータとして直接読み取り，そのデータを元に自動的に立体物を造形していく装置である[2]．その設計から造形物完成までの流れを Figure 1 に示す.

２.１　造形材料

3Dプリンターで利用できる材料は, ABS 樹脂やPLA 樹脂などのプラスチック系樹脂と鉄やチタンなどの金属である[3].

２.２　積層造形法

3D プリンターにおける主要な造形法を整理したのが Table 1[4]である．熱融解積層法は，加熱によって軟化させた材料をノズルから押出すことで積層させ，光造形法では，光硬化性樹脂にレーザーなどの熱源を照射して固化させる方法である．インクジェット法は，溶融した材料をノズルから吐出して積層を行い，粉末焼結法は，レーザーなど熱源を粉末に照射し，融点以上まで加熱し溶融させた後，凝固させることによって積層していく方法である[2].

３．樹脂造形における熱挙動

熱源による変形を調査するため，樹脂材を用いて直方体（縦横の長さ:20 mm，高さ:10 mm）の造形物を MakerBot 社製 Raplicator®2X を用いて製作した．造形条件は，押出し温度 230 ºC，プレート温度 110 ºC，押出し速度 90 mm/sec，ノズル移動速度 150 mm/sec，充填密度 10 %として，積層高さを 0.1 mm，0.2 mm，0.3 mm の 3 種類で行った.

造形後の寸法をノギスにて測定し, Table 2 に整理した．Table 2 から，全ての造形条件で縦横の長さに関して収縮が起こり, 最大 2.8 %の造形誤差が生じている.

４．数値解析

４.１　熱流体解析

3 次元汎用熱流体解析ソフトウェア FLOW-3D を使用し，材料への熱の流れを調べた．形状は直方体（縦横の長さ：高さ ＝2：1）で加熱面は材料上面とし熱伝導解析を行った．初期温度 20 ºC，入力温度 700 ºC，境

１：日大理工・学部・機械　２：日大理工・教員・機械

界条件は連続であり，材料は AISI430 stainless steel とした．問題を簡素化するため，造形途中の 1 層において，材料全体へ熱源を一斉照射したと仮定する．

４.２　１次元非定常熱伝導方程式

１次元非定常熱伝導方程式は(1)式で表される．

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \frac{\partial^2 Z}{\partial t^2} \qquad (1)$$

ここで，T は温度，t は時間，α は熱拡散率である．(1)式を前進差分法により温度を算出する．熱流体解析条件と同等になるように，温度，物性値等の初期条件を設定して温度変化を調べた．

４.３　解析結果

熱流体解析から材料上面（Figure 2）と差分法により算出した，時間における温度変化を Figure 2 に示す．Figure 2 より，熱流体解析結果と差分法の結果が同様な挙動を示しているので，今回作成したモデルは妥当であると判断できる．

５．結論

樹脂材で製作した造形物は，縦横の長さ方向に最大 2.8 %の収縮率が生じ，熱影響による変形が確認できる．積層高さと関連が見られないが，これは測定誤差の影響もある．また，数値解析では Figure 2 より，ステップ数を dz = 0.012 としたときに，t = 20 sec までで FLOW-3D モデルと最も近い挙動を示している．よって，この値が解析における適正値として利用できる．

６．参考文献

[1] 京極秀樹:「金属 3D プリンタの開発動向と今後の展望」，近畿大学次世代基盤技術研究所報告，Vol.5，pp.139，2014.

[2] 新野俊樹:「積層造形技術―ラピッドプロトタイピングからラピッドマニュファクチャリングへ―」，精密工学会誌，Vol.76，No.12，PP.1340-1342，2010.

[3] 萩原恒夫:「材料から見た 3D プリンターの現状と将来」，素形材，Vol.54，No.9，pp.37-39,43，2013.

[4] 藤田公子:「３D プリンターがものづくりの仕組みに変化をもたらす可能性～未来のものづくりの姿と日本の素形材産業～」，Mizuho Industry Focus，Vol.151，pp.3-4，2014.

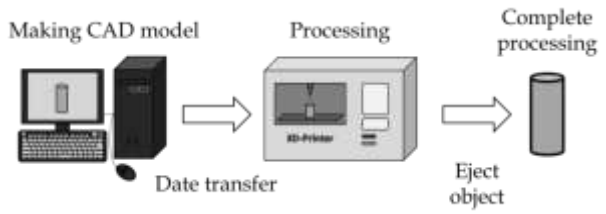

Figure 1. The manufacturing process of 3D printing

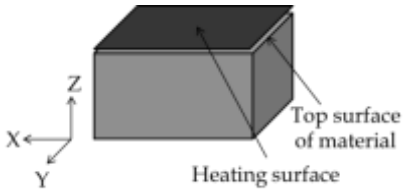

Figure 2. Computational domain of FLOW-3D

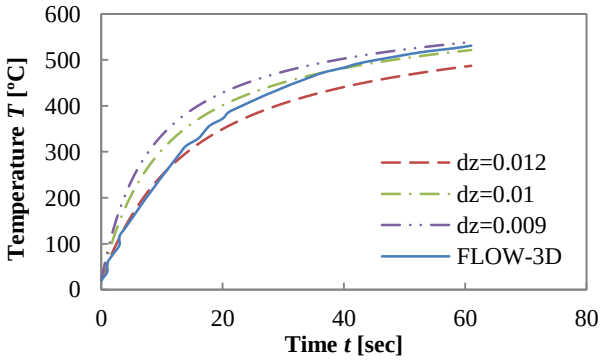

Figure 3. Temperature history on the top surface of a material

Table 1. Additive manufacturing and its applications

Applications	Processing	Users
Professionals	Powder Sintering	Engineers, industrial designers, machinists e.g.: airplanes, medical devices, etc.
	Fused Deposition Modeling (expensive)	
	Stereo lithography	
Prototype	Fused Deposition Modeling	General manufactures e.g. : vehicle, electronics, machinery, daily items, toy, etc.
	Stereo Lithography	
	Inkjet	
Consumers	Fused Deposition Modeling (low price)	Home users

Table 2. The dimensions of the parts processed by 3D printing

No.	Length [mm]	Height [mm]	Error of length[%]	Error of height[%]
1	19.60	10.10	-2.0	1.0
	19.65		-1.8	
2	19.45	10.10	-2.8	1.0
	19.60		-2.0	
3	19.70	10.00	-1.5	0.0
	19.85		-0.7	