

## アルミニウム合金の積層造形における造形物の形状評価

機械電子科 大澤洋文  
材料科 田光伸也 植松俊明 望月智文 木野浩成\*  
静岡大学工学部 早川邦夫 久保田蓮太

## Evaluation of shape accuracy for the laser powder bed fusion additive manufacturing of aluminum alloy

OOSAWA Hirofumi, TAKO Shinya, UEMATSU Toshiaki, MOCHIZUKI Tomofumi, KINO Hironari,  
HAYAKAWA Kunio and KUBOTA Renta

Keywords: Additive manufacturing, Laser powder bed fusion, Aluminum alloy, Shape accuracy

レーザ粉末床溶融結合方式の金属 3D プリンタを用いて、内径が 5mm、10mm、20mm、40mm、厚さが 1mm、5mm、長さ 10mm の円筒と直方体で構成される複数の積層造形物をアルミニウム合金粉末 AlSi10Mg を材料として作製し、円筒外径の円弧形状を評価した。造形物は、造形後の冷却過程でのサポートの収縮、造形時の金属の溶融及び凝固により発生する残留応力で形状が変化した。その結果として、円筒の外径が大きくなるほどその半径の計測値と 3D データの差が大きくなること、並びに厚さが大きいほど形状精度が悪化することを確認した。

キーワード：積層造形、レーザ粉末床溶融結合方式、アルミ合金、形状変化、金属 3D プリンタ

## 1 はじめに

金属 3D プリンタは、複雑形状や枝状格子を 3 次的に並べたラティス構造など、従来の加工方法では実現不可能な形状を作製できる。これにより、製品の高機能化や軽量化が可能になるため、輸送用機械関連産業など様々な分野での利用が期待されている。

しかし、レーザ粉末床溶融結合方式の金属 3D プリンタは、レーザの熱源によって選択的に金属を溶融、凝固させ、それを積み重ねて目的の形状を造形するため、熱の影響で造形物に変形が生じることがある。そのため、形状精度の高い造形を行うには熱変形や残留応力による形状変化を把握することが重要である。そこで今回、寸法の異なるアルミニウム合金の積層造形物を作製し、大きさや厚さが形状精度に及ぼす影響を確認した。

40 mm の 4 水準、円筒の厚さ  $t$  を 1、5 mm の 2 水準、円筒の長さを 10mm とする 8 種類とした。試験は、アルミニウム合金粉末 AlSi10Mg (東洋アルミニウム株) を材料としてレーザ粉末床溶融結合方式の金属 3D プリンタ SLM280 (Nikon SLM Solutions AG 製) で造形した。その際、造形角度  $\theta$  が  $60^\circ$  以上となる円筒内径の下部にサポートを付与した。

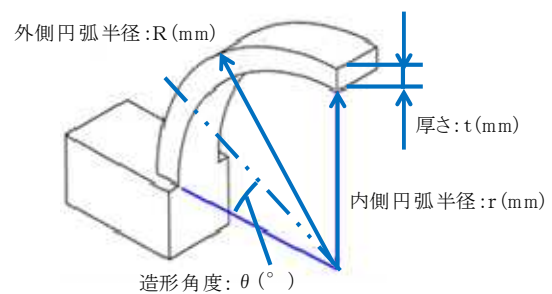


図1 試験片

## 2 方法

### 2.1 試験片

試験片は、図1に示す直方体と円筒で構成される形状とし、その寸法は、円筒の内径  $r$  を 5、10、20、

### 2.2 造形条件

150 °C に加熱したベースプレート上に、造形厚さ 0.06mm、レーザ出力 650 W、走査間隔 0.17 mm、走査速度 1,850 mm/s で造形した。

\* 現 繊維高分子材料科

### 2.3 形状精度の評価

試験片をベースプレートから切り離さない状態で円筒の外径円弧の座標位置を輪郭測定機 CV-4100H8 (株ミツトヨ製) を用いて計測し、3D データと比較した。また、得られた座標位置データから最小二乗円を算出して円筒外径 R を計算し、計測値とした。

### 3 結果と考察

各試験片における円筒外径 R の計測値と 3D データの差を図 2 に示す。円筒外径 R は、 $t = 1 \text{ mm}$  の場合、 $r$  が大きくなるほど 3D データより小さく、 $t = 5 \text{ mm}$  の場合は  $r$  が大きくなるほど 3D データより大きくなり、試験片の厚さによって寸法誤差の方向が異なった。

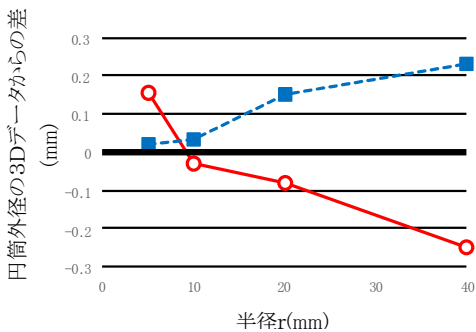


図2 円筒内径  $r$  に対する円筒外径の実測値と 3D データの差

○:  $t = 1 \text{ mm}$ 、■:  $t = 5 \text{ mm}$

次に、 $r = 40 \text{ mm}$ 、 $t = 1 \text{ mm}$  及び  $5 \text{ mm}$  の試験片の円筒外径における円弧形状と 3D データの法線方向の差を図 3 に示す。造形角度  $\theta$  が  $60^\circ$  から  $90^\circ$  の区間では、どちらの厚さの試験片の外径も 3D データと比較して  $0.2 \text{ mm}$  程度小さかった。この要因として、造形終了時の冷却過程でサポートが収縮し、造形物が形状変化した可能性が考えられる。一方、造形角度  $\theta$  が  $0^\circ$  から  $60^\circ$  の区間では、 $t = 1 \text{ mm}$  の試験片では  $\theta = 50^\circ$  付近までは 3D データからの差が小さかったが、 $t = 5 \text{ mm}$  の試験片では 3D データからの差が直線的に増加し、形状精度が悪化した。この形状の差によって、図 4 (a) に示すように円弧の曲率が  $t = 1 \text{ mm}$  では小さくなり  $t = 5 \text{ mm}$  では大きくなったと考えられる。

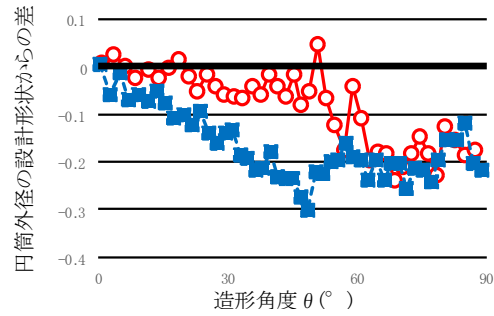
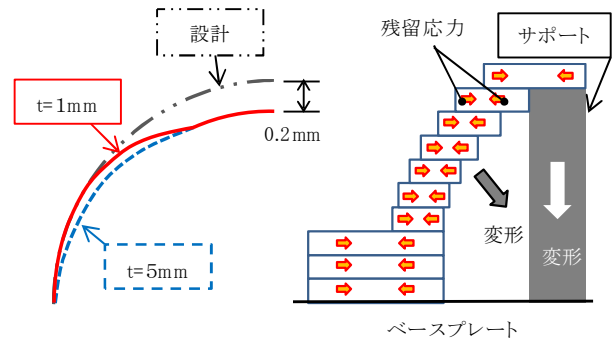


図3 造形角度と設計形状からの差

○:  $r = 40 \text{ mm}$   $t = 1 \text{ mm}$ 、■:  $r = 40 \text{ mm}$   $t = 5 \text{ mm}$



(a) 円弧曲率分布 (b) 残留応力分布

図4 試験片の変形イメージ

レーザ粉末床溶融結合方式の金属 3D プリンタで造形時の金属内部に働く力を考えると、レーザ照射で溶融した金属が、凝固過程で収縮する際にベースプレートからつながっている下層側が拘束されることで、図 4 (b) に示すように各層内に残留応力が発生する。また、試験片の円筒部は、直方体とサポートによって両側が固定されているために発生した残留応力で内側に形状変化する。以上のことから、円筒の厚さによって 3D データからの差が異なった要因として、積層数が多くなることで残留応力の合力が増加するため、形状変化の量も大きくなり、形状精度の悪化につながったことが考えられる。

### 4 まとめ

金属 3D プリンタを用いて半径と厚さの異なる円筒形状を含む試験片を作製して形状を評価し、以下の結果を得た。

- (1) 円筒の外径が大きくなるほど、外径の計測値と 3D データの差が大きくなった。
- (2) 造形過程で発生する残留応力により造形物は形状変化し、厚さが大きいほど形状精度が悪化した。