

選択的レーザー溶融法におけるサポート構造・ラティス構造の特性評価

慶應義塾大学 ○池田 優梨子, ◎柿沼 康弘,

DMG 森精機株式会社 森 貴則, 小田 陽平, 廣野 陽子, 日産自動車株式会社 牧 鉄兵, 高木 一央

要旨

選択的レーザー溶融法によるラティス構造の積層造形性能について解析するため、本研究では、積層条件がサポート構造・ラティス構造の機械的特性に与える影響を評価した。サポート構造の引張試験において、引張強度は体積エネルギー密度に正の相関、引張強度までのひずみは走査速度に負の相関を示すことを確認した。ラティス構造の圧縮試験では、レーザー出力が大きいほどストラットが太く、ヤング率が高くなることを確認した。

1. 緒論

近年、電気自動車の普及により、自動車の機械部品に求められる性能要求は一層高まっている。一方で、機械部品内部の構造まで設計・製造を可能とする金属積層造形技術が注目を集めている。特に、ラティス構造[1]を機械部品に適用することで、軽量化や振動抑制、衝撃吸収といった効果が期待できる。そこで本研究の最終目的を、金属積層造形法による自動車用機械部品の高機能化とその製造方法の確立とした。

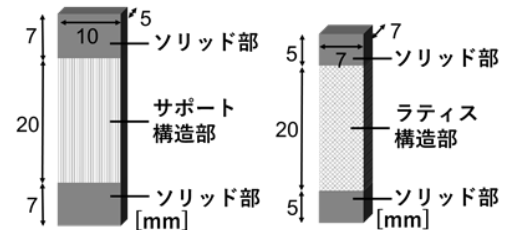
金属積層造形法の一つに、選択的レーザー溶融法 (SLM) がある。その積層プロセスを簡単に説明する。①平坦な粉末床表面にレーザーを照射し、選択的に溶融・固化した後、1層の厚さだけステージを降下させる。②降下した分の粉末を供給し、2層目のレーザー照射による溶融・固化を行うと同時に、すでに固化された下層と溶融し結合する。以降、粉末供給、レーザー照射による選択的固化と下層との結合を繰り返すことにより、内部構造を含めた目標の3次元形状を実現できる。また、SLMによる積層において、造形物とベースプレート間にサポート構造が必要となる。これにより、熱伝達を促し、内部応力による熱変形を抑えることができるが、強度が低い場合にはベースプレートからの剥離が生じるといった問題がある。

そこで、卒業論文研究では SLM による高機能な機械部品の製造における基礎的研究として、積層条件の違いによるサポート構造やラティス構造の機械的特性の解析を行った。特に、レーザー出力・走査速度の違いが造形物の機械的特性に与える影響を調べた。

2. 選択的レーザー溶融法による試験片作製

レーザー出力・走査速度がサポート構造・ラティス構造の機械的特性に与える影響を評価するために、SLM 装置 (LASERTEC 30 SLM 1st Generation, DMG 森精機株式会社製) を用いて、入熱量を変化させ複数の試験片を積層造形した。金属粉末は、SUS 316L を使用し、図 1 に示すように、ソリッド部でサポート構造部・ラティス構造部を挟んだ形状の試験片を作製した。サポート構造評価用試験片の積層条件を表 1、ラティス構造評価用試験片の積層条件を表 2 に示す。レーザー出力・走査速度を除いた積層条件は共通の数値を用いた。

本研究では、サポート構造の機械的特性の評価を行うため、引張試験を行った。これは、サポート構造において、ワークの熱変形などによって引張方向の応力が負荷し剥離を起こすことが多く問題視されているためである。また、ラティス構造の機械的特性の評価を行うため、圧縮試験を実施した。ラティス構造は軽量化できる構造であるとともに、エネルギー吸収材として注目されており、その圧縮特性の解析は重要であるため、圧縮試験を選択した。



(a) サポート構造評価用 (b) ラティス構造評価用
図 1 試験片モデル

表 1 サポート構造評価用試験片の積層条件

サポート構造部	レーザー出力	W	40 ~ 280(40 毎)
	走査速度	m/s	0.4 ~ 2.8(0.4 毎)
ソリッド部	レーザー出力	W	112
	走査速度	m/s	1.0
ソリッド部縁取り	レーザー出力	W	140
	走査速度	m/s	0.3
層厚さ		μm	50
チャンバ内酸素濃度		%	0.2±0.05
レーザースポット径		μm	72.3
ベースプレート温度		°C	200

表 2 ラティス構造評価用試験片の積層条件

サポート構造部	レーザー出力	W	200
	走査速度	m/s	0.8
ソリッド部	レーザー出力	W	60
	走査速度	m/s	1.0
ソリッド部縁取り	レーザー出力	W	60
	走査速度	m/s	0.3
ラティス構造部	レーザー出力	W	80 ~ 280(40 毎)
	走査速度	m/s	0.4 ~ 2.8(0.4 毎)

3. サポート構造の特性評価

サポート構造を含む試験片に対する引張試験によって得られた引張強度 [MPa] と体積エネルギー密度 [J/mm³] の関係を図 2 に示す。体積エネルギー密度は式(1)で表され、引張強度は体積エネルギー密度に正の相関を示していることが確認できる。

$$E_v = \frac{P}{vht} \quad (1)$$

ここで、 P [W] はレーザー出力、 v [mm/s] は走査速度、 h [mm] はハッチ距離、 t [mm] は粉末層の厚さである。この結果は、入熱量の増加によって、サポート構造のストラットの直径が太くなったこと、層間の結合が向上したことに起因すると考えられる。

また、積層条件と引張強度までのひずみ [%] の関係を図 3 に示

す。引張強度までのひずみは走査速度に負の相関を示していると考えられる。これは、造形中の冷却速度が速くなると造形物の微細構造は針状 α' マルテンサイトで構成され、延性が低下するためである[2]。サポート構造部は造形終了後に除去されるので、強度を保ちつつ除去が容易な条件の調整が必要である。

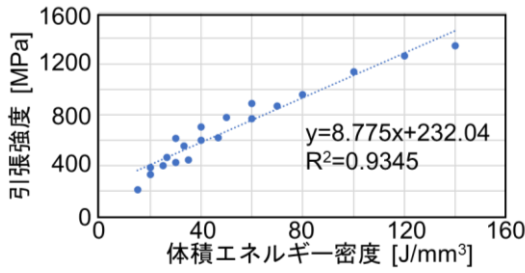


図2 体積エネルギー密度と引張強度の関係

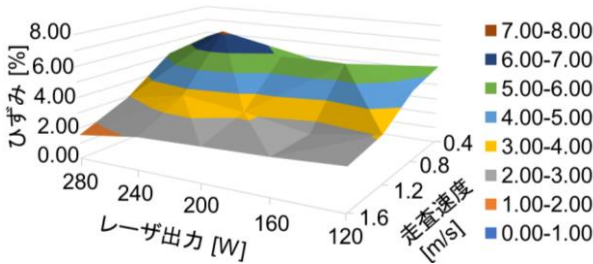


図3 積層条件と引張強度までのひずみの関係

4. ラティス構造の特性評価

ラティス構造評価用の試験片に対して圧縮試験を行った。走査速度を2.8 m/sとして、レーザー出力を変化させ積層した造形物の応力-ひずみ線図を図4に示す。レーザー出力が小さいほど、プラトー領域は広くなり、その応力値は低くなることを確認できる。これは、図5に示すように、レーザー出力が小さいほどストラットが細くなり、ラティス構造部の空孔率が高くなったことに起因する。一方で、走査速度による影響を応力-ひずみ線図で比較したところ、大きな差異はないことが確認された。

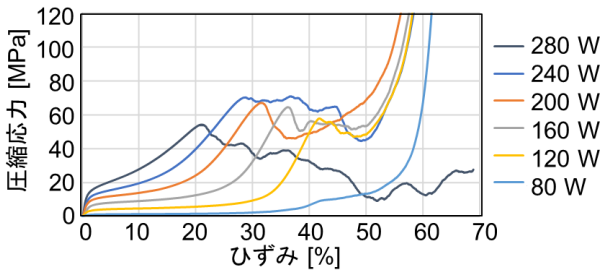


図4 走査速度 2.8 m/s の条件での応力-ひずみ線図

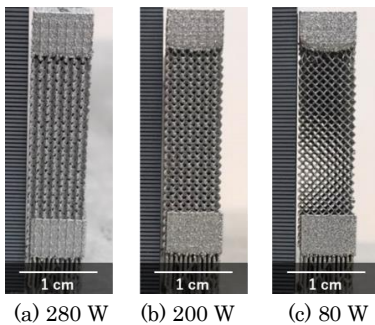


図5 走査速度 2.8 m/s の条件での試験片の様子

応力-ひずみ線図において、最初に圧縮応力の低下が生じる点

で、試験片に亀裂が入り、試験片が破壊を始めた。その後の挙動は破壊した試験片の一部がその場に留まったり脱落したりするため、試験片によって結果が異なる。したがって、圧縮特性として着目すべき部分は破壊前の挙動であると考え、破壊開始までのエネルギー吸収量を比較した。エネルギー吸収量は、ひずみ ϵ_1 だけ変形したとき、式(2)で定義される。

$$E = \int_0^{\epsilon_1} \sigma d\epsilon \quad (2)$$

走査速度 2.8 m/s の条件における各レーザー出力でのエネルギー吸収量を図6に示す。本実験で設定したレーザー出力条件の中では、240 W の造形物において破壊開始までのエネルギー吸収量が最大となることが確認された。レーザー出力 280 W の条件では、図4においても他の条件に比べ、プラトー領域が明確にみられず、空隙率が低下したことによりソリッド状態に近い挙動を示しているため、エネルギー吸収量も 240 W に比べて低下したと考えられる。

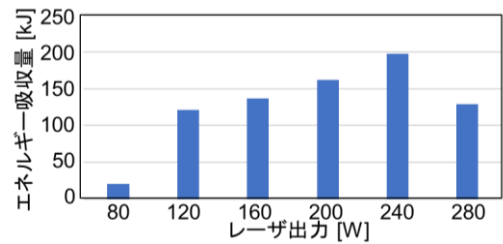


図6 走査速度 2.8 m/s の条件におけるエネルギー吸収量

また、圧縮試験によって得られた積層条件とヤング率の関係を図7に示す。圧縮試験におけるヤング率はレーザー出力に正の相関を示している。これは、レーザー出力が大きいほどラティス構造のストラットの直径が太くなり、変形し難くなったためである。

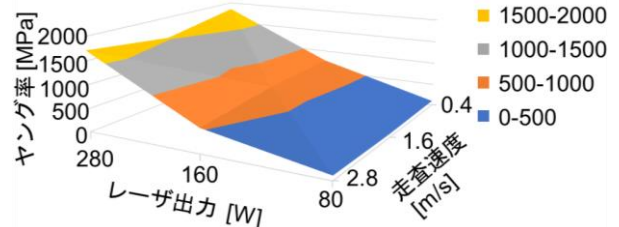


図7 積層条件とヤング率の関係

5. 結論

サポート構造において、引張強度は体積エネルギー密度に正の相関、引張強度までのひずみは走査速度に負の相関を示した。この結果を活用し、サポート構造は強度を保ちつつ除去が容易な条件を選択すべきである。

ラティス構造の圧縮試験において、レーザー出力が小さいほど、プラトー領域が広くなり、その応力値も低くなった。また、エネルギー吸収量は 240 W の条件で最大となることを確認した。圧縮試験におけるヤング率はレーザー出力に正の相関を示した。

参考文献

[1] 下出 健人,横関 智弘,青木 隆平,寺島 啓太,紙田 徹,CFRP ラティス構造の衝撃伝播特性に関する研究,日本複合材料学会誌,41,5, (2015) 159-167.
 [2] H. Shipley, D. McDonnell, M. Culleton, R. Coull, R. Lupoi, G. O'Donnell, D. Trimble, Optimisation of process parameters to address fundamental challenges during selective laser melting of Ti-6Al-4V, International Journal of Machine Tools and Manufacture, 128, (2018) 1-20.