

レーザー積層造形による月面基地建設材料の製造に関する研究

大林組 正会員 ○田島孝敏, フェロー会員 新村 亮
 レーザー技術総合研究所 藤田雅之
 大阪大学 遠藤康平, 兒玉了祐
 JAXA 星野 健, 金森洋史

1. 目的

1969年に人類が月に初めて着陸して50年以上が経過し、米国NASAは2024年に月に再び宇宙飛行士を送り、その後の火星有人探査計画を進めている。月の表土等の資源を探査するためには活動拠点の基地などのインフラが必要となる。地球からロケットで物資を運搬すると莫大な費用がかかるため、現地の資源を用いて建設材料を製造することが求められる。前報では、ファイバーレーザーで月の模擬砂を溶融して積層できることを示した^{1),2)}。ここでは、地産地消型の建材製造技術の確立を目指し、積層造形装置の適用性を調査した。

2. レーザーによる積層造形

粉末材料をレーザーにより加熱して積層造形する方法として、粉末床溶融結合法(PBF)と指向性エネルギー堆積法(DED)があり、プラスチック樹脂や金属の造形等に利用されている。これらの方法の概要を図1に示す。

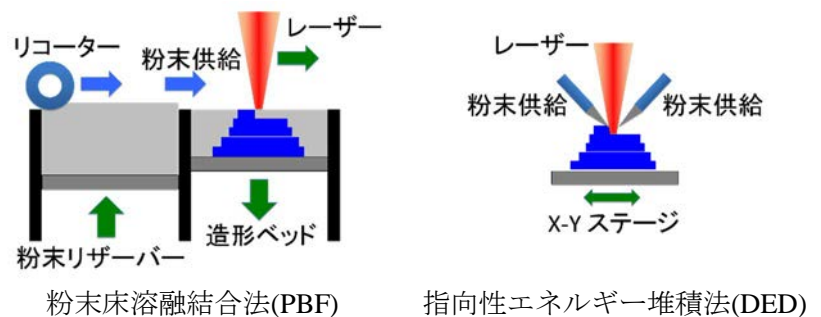


図1 粉末材料を用いたレーザー積層造形法

PBF法は、①粉末をある一定の厚さに敷き均し、②上部からレーザーを照射して粉末を溶融し、③造形ベッドを下に移動して、④試料上部に粉末を敷き均す、という動作を繰り返して、立体物を造形する。一方、DED法はレーザー照射部に粉末材料を供給し、溶融した材料を任意の形状に積層する方法である。ここでは、両者の方法によ

って月の模擬砂を加熱・溶融して積層造形し、その圧縮強度を測定した。

3. 積層造形実験

3.1 使用材料

月の表土を模擬した砂として、火山溶岩石を原料とする月土壌シミュラントFJS-1を使用した。主な化学組成はSiO₂が49.8%、Al₂O₃が19.9%、CaOが10.2%である。図2に粒径分布図を示す。アポロ計画で採取された月土壌の粒度分布の上下限内に収められ、50%粒径が0.067mmで粒子が細かいのが特徴である。

3.2 粉末床溶融結合法(PBF)

楕アスペクトの造形装置「RaFaEl II 150-HT」を使用し、粉末リザーバーに月の模擬砂を充填して実験を行った。搭載レーザーはCO₂レーザー(最大出力60W)で、集光スポット径は0.2mmである。

PBF法では、砂を敷き均す装置(リコーター)を移動させて粉末床を形成するが、層厚0.3mmで敷き均す時に1mm程度の粒が混入すると、これを引きずった跡が床面に残ってしまう。

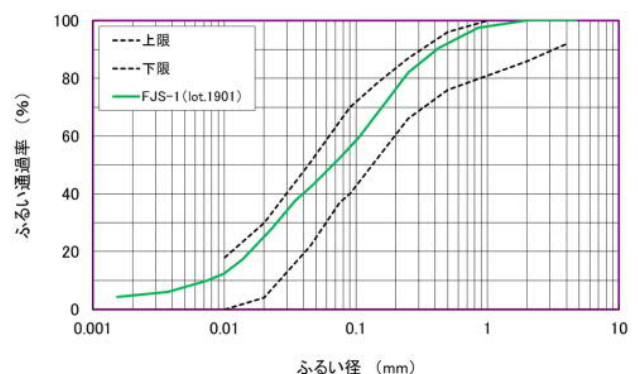


図2 月土壌シミュラントの粒径分布図

キーワード レーザー, 3Dプリンタ, 月レゴリス, 溶融, 積層造形, 建設材料

連絡先 〒204-8558 東京都清瀬市下清戸4-640 大林組 技術研究所 自然環境技術研究部 TEL 042-495-1102

一方、粒径が小さくなるほど流動性が低下して、均等な厚さで敷き均すことが難しくなる。そこで、事前に模擬砂の流動性を確認して、層厚より小さく、かつ均等に敷き均すことが可能な粒径の上下限を設定した。

実験ではレーザー出力とスポット径を固定し、掃引速度、走査線間隔、層厚を変えて条件出しを行った。レーザー照射により模擬砂はビーズ状にガラス化し、相互に連結して層を形成する。層厚を薄く設定すると、ビーズがリコーターに引っ掛かって位置ズレが生じる。逆に層を厚くすると層間に隙間が生じて薄片状にバラバラになる。そこで、材質が模擬砂と類似した基板の上に1層目を固定し、2層目が剥がれないように層厚を調整して積層造形を行った。



図3 PBFのレーザー照射状況と積層造形物

図3に実験状況と、積層した立体物(20×20×高さ10mm)を示す。スポット径が0.2mmと小さいため形状精度が高いことが特長である。基板から外して載荷面を石膏でキャッピングして圧縮試験を行った結果、圧縮強度は3.3 N/mm²であった。レーザー照射回数を倍増した積層立体物(10×10×高さ10mm)の圧縮強度は12 N/mm²で前報と同程度であった。砂の熔融が進み、立体物内部に残った空隙が少なかったためと考えられる。

3.3 指向性エネルギー堆積法 (DED)

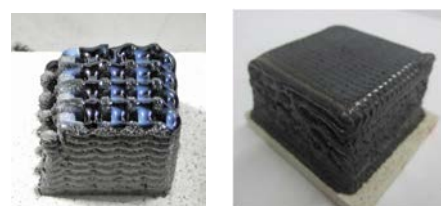
滋賀県工業技術総合センターが保有する日本電産マシンツール(株)製のLAMDA 200を用いて実験を行った。図4に積層造形中の写真を示す。ヘッド先端から吐出された砂がレーザー焦点位置で熔融し、X-Yステージが平面方向に移動しながらビードが積層されていく。

まず、レーザー出力100W、スポット径3mmで掃引速度100mm/分で実験を行った。掃引間隔を5mmにして、1層毎に掃引方向を90度変えながら高さ約20mmの井桁状立体物を積層した結果を図5(a)に示す。次に、密実な造形物を作製するため、レーザー出力300W、掃引速度450mm/分に条件を設定した。掃引間隔を2mmにして積層した結果を図5(b)を示す。

これらの積層立体物の圧縮強度試験を行った結果、井桁構造が47 N/mm²、中実構造が90 N/mm²と、コンクリートと同等の圧縮強度が得られた。空隙の少ない中実構造の方が高強度であった。



図4 DEDによる積層造形状況



(a)井桁構造 (b)中実構造

図5 積層造形物

4. まとめ

粉末床熔融結合法(PBF)の使用装置は比較的低出力で集光系が小さいため、大型造形物の作製に至らなかったが、圧縮強度は最大12 N/mm²が得られた。一方、指向性エネルギー堆積法(DED)は、照射条件の最適化を図って高密度、高強度の材料を作製できたことから、月土壌を用いた建材の作製ではDEDがより適していると考えられる。今後の課題として、造形の高速度化と造形物の大型化があるが、レーザー出力を500W、1000Wと増加することにより、比較的短時間でレンガ相当の大型造形物を作製することが期待できる。

謝辞

本研究はJAXA宇宙探査イノベーションハブとの共同研究で行われた。装置実験の遂行に際してご協力頂いたアспект(株)および滋賀県工業技術総合センターの関係各位に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 田島孝敏ほか：レーザーによる月の模擬砂の積層造形に関する研究，令和3年度土木学会全国大会(2021)
- 2) 藤田雅之ほか：レーザー加熱による月面模擬砂を用いた建設材料の作製，第64回宇宙科学技術連合講演会講演集，JSASS-2020-4250-2E14 (2020)