

## レーザーによる月の模擬砂の積層造形に関する研究

大林組 正会員 ○田島孝敏  
 大林組 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 兒玉了祐

### 1. 目的

月・惑星探査や火星移住など、宇宙で人が活動するためには、基地建設を含むインフラ整備が必要となる。地球からロケットで物資を運搬するためには莫大なコストがかかり、輸送能力に限られるため、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ている。本研究では月面での地産地消の建設材料の作製を目指し、月の表土を模擬した砂を用いて、連続波ファイバーレーザー照射による積層造形に関する基礎実験を行った。

### 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主な方法として、粉末床溶融結合法と指向性エネルギー堆積法があり、金属の造形などに利用されている。前者は、粉末をある一定の厚さに敷き均し、その上からレーザーを照射して粉末を溶融する方法で、レーザー照射後に試料を下方に移動させて、試料上部に粉末を敷き均す動作を繰り返して、立体構造を造形する。後者はレーザー照射部に粉末を投入して溶融させ、これを任意の形状に移動して積層造形する方法である。ここでは、粉末床溶融結合法により砂を溶融固化して積層造形した。

### 3. 積層造形実験

#### 3.1 使用材料

富士山溶岩石を原料として、模擬月土「FJS-1」に類似した月模擬砂を製造した。主な化学組成は  $\text{SiO}_2$  が 51.5%,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  が 17.6%,  $\text{CaO}$  が 11.1% である。図 1 に粒径分布図を示す。50%粒径が 0.041 mm で、模擬月土に比べて粒子が細かい。

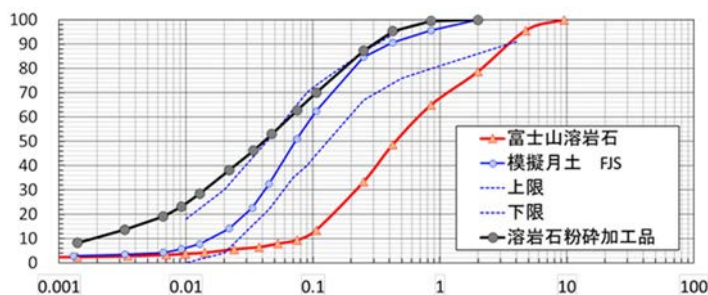


図1 月模擬砂の粒径分布図

#### 3.2 実験装置

本実験で用いた光学系セットアップを図 2 に示す。フジクラ社製連続波ファイバーレーザー(波長 1095 nm, 最大出力 300 W)を光源として使用し、常温常圧の室内環境で実験を行った。

#### 3.3 実験方法

敷き均された砂にガルバノスキャナーを用いてレーザーを掃引照射することで焼結・溶融層を形成した。出来上がった層の上に砂を敷いてレーザー照射する工程を繰り返すことにより層を積み上げた。

模擬砂を敷くために M30 の六角ボルトとナットを組み合わせた治具を用意した。M30 ネジのピッチは 3.5 mm, ナットの内径は約 26 mm であり、ナットを 1/6 回転させると約 600  $\mu\text{m}$  厚、直径 20mm 強の砂を敷くことができる。図 3 に積層造形の手順を示す。

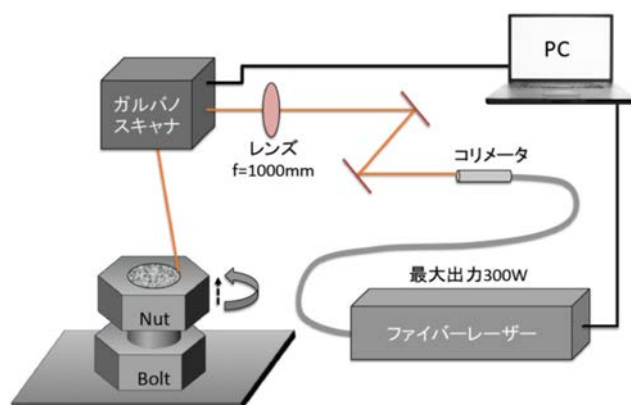


図2 実験装置の概要

キーワード レーザー, 月の模擬砂, 焼結, 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

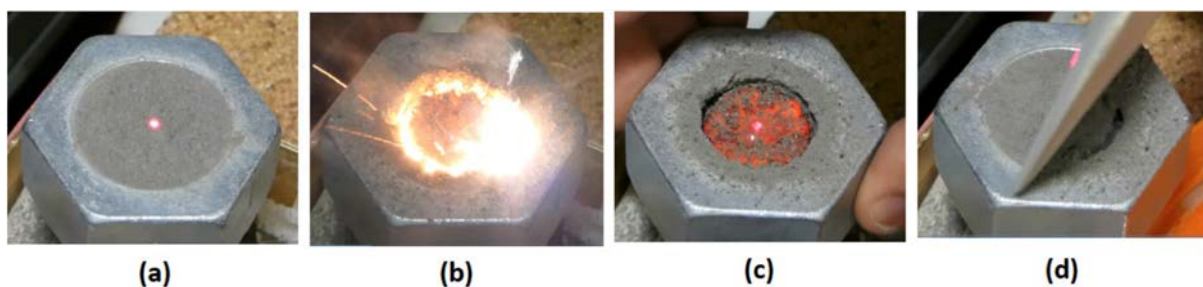


図3 積層造形の手順

(a) 敷き均した砂に、(b) ガルバノスキャナーを用いてレーザーを掃引照射することで焼結・溶融層を形成し、(c) ナットを回転させて、(d) 固まった層の上に砂を敷き均し、レーザーを照射する工程を繰り返して積層造形した。

レーザーパワー、スポット径、1照射当たりの積層高さ、掃引速度、照射間隔などのパラメータの最適条件の導出を目的として、単～数層の焼結・溶融物生成とその評価を行った。1 mm 当たり 4 回ほど積層することで、図4に示すような直径 2 cm、高さ 1.6 cm 程度の円柱固形物を作製した。高パワーの場合、砂が溶融して団粒化した状態が顕著に認められる。

### 3.4 積層造形物の圧縮強度

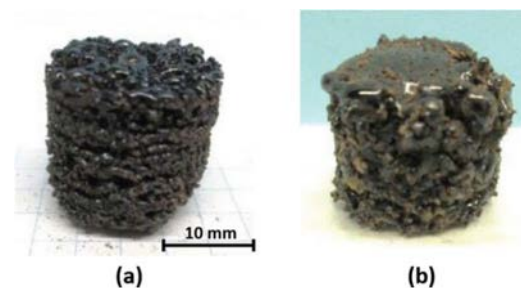
試料加压面の水平性・平面度を確保するため、上下面を石膏でキャッピングした後、圧縮試験を行った。図5に高パワー(190W)で作製した4試料の圧縮強度—ひずみ曲線を示す。No.1の圧縮強度は  $14.9 \text{ N/mm}^2$  で JIS 普通れんが 2 種( $15 \text{ N/mm}^2$  以上)にほぼ相当する。試料内部は、溶融した砂が団粒化した状態で繋がっており、载荷に伴い連結部に応力が集中して破壊に至ると推定される。No.2, 3, 4 は円柱造形後に上面や下面にレーザーを照射した試料で、No.1 に比べて圧縮強度が低い、ひずみが大きい特徴が認められる。溶融した砂の団粒状態が強度とひずみに影響していると考えられる。図6に試料の密度と圧縮強度の関係を示す。低パワーで作製した試料は空隙が多くなり、密度が低く圧縮強度が小さい。一方、高パワーで作製した試料は溶融した砂の割合が増えて密度が高く、圧縮強度が大きい。

### 4. まとめ

粉末床溶融結合法により月模擬砂の積層造形物を作製し、圧縮強度は最大約  $15 \text{ N/mm}^2$  が得られた。照射条件の最適化により、高密度、高強度の材料を作製できる可能性がある。

### 参考文献

- 1) 田島, 森: 月や火星に適用可能な基地建設材料の開発—地産地消型の製造技術—, 土木学会誌(2019.12)
- 2) 真木 他: 月の模擬砂を用いた建設材料の作製, レーザー学会学術講演会第40回年次大会講演予稿集(2020)
- 3) 藤田 他: 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(2020)



レーザーパワー (a) 50W, (b) 190W で作製

図4 積層造形物

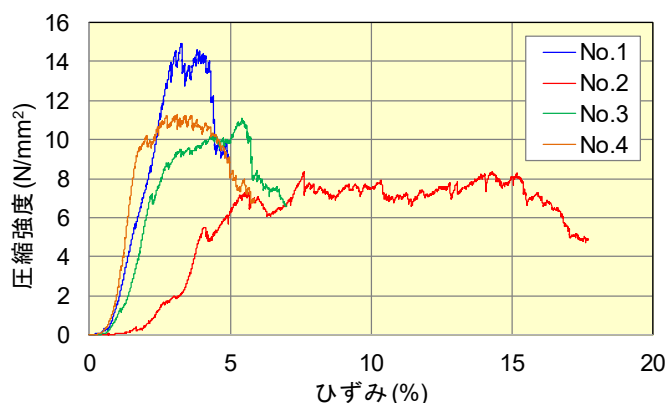


図5 高パワー(190W)で作製した試料の圧縮試験結果

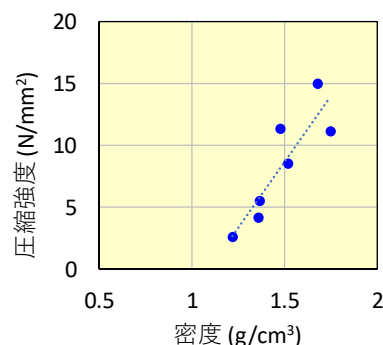


図6 試料の密度と圧縮強度の関係