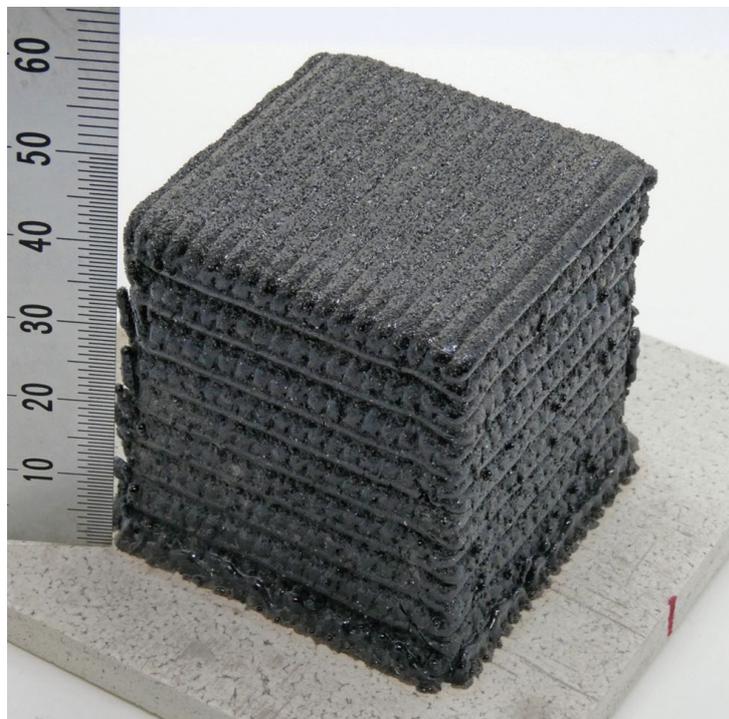


CONTENTS

- 光と砂で月面インフラを
- レーザー駆動定在波による
- 鋼管肉厚の遠隔検査法の開発



【表紙図】DED法により月の模擬砂(FJS-1)から作製した供試体

光と砂で月面インフラを

主席研究員 藤田雅之

◆月面基地建設へ向けて

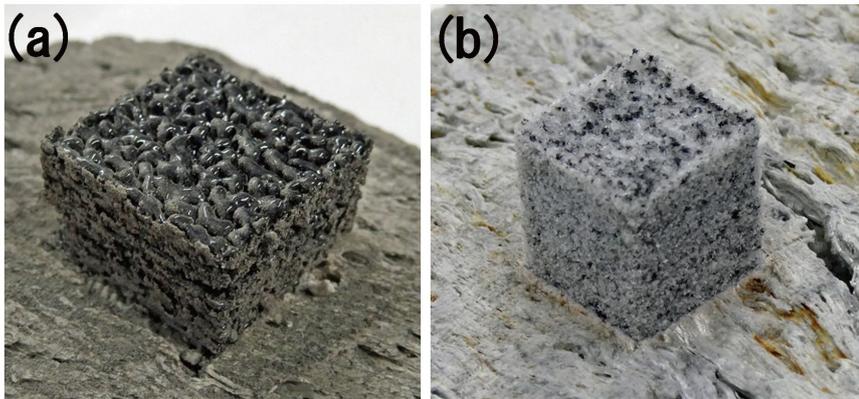
月面での探査活動に際しては、基地建屋や離発着場、道路等のインフラ整備が必要となる。我々は、大阪大学および大林組と共同でこれらの建設材料を月面で調達するために月の表土をレーザーで焼成・溶融させて積層する方法に着目した研究を進めている。富士山溶岩(玄武岩)を粉砕した月の模擬砂をレーザーで加熱し、3Dプリンティングの手法を利用することで、自由な形状の建設材料を作製する技術開発に取り組んできた。

◆手作業から自動化へ

3Dプリンティングにはさまざまな手法があり、バインダーと呼ばれる材料を混ぜて(あたかも練り歯磨き

粉のように)チューブからしほり出すように積層することも行われている。我々は材料として月面の砂だけを用いることにこだわり、レーザー加熱で積層する手法である粉末床溶融結合(PBF)方式と指向性エネルギー堆積法(DED: Directed Energy Deposition)方式に着目した。

まずは手作業でPBF方式の積層造形を行い、レーザーで砂を焼いて立体物ができることを示した(Laser Cross No.391, 2020 Nov.)。次のステップは、金属や樹脂を造形する市販の装置で砂を造形できるのか?に答えを出すことである。はたして、砂の装填を受け入れてくれる市販の装置があるのか、貸してくれるのか、使わせてくれるのか? 幸いなことに(意外にあっさ



【図1】PBF法による造形物。材料は、(a) FJS-1、(b) 珪砂8号

りと)、株式会社アスペクトがPBF装置を、滋賀県工業技術総合センターがDED装置を使わせてくれることが分かり、出張実験を開始した。

◆JAXAとの共同研究

そんな折、JAXAの宇宙探査イノベーションハブ・アイデア型研究に提案した「レーザー加熱による土質材料の有効利用に関する研究」が採択され(2020年秋)、2021年2月から1年間、大阪大学、大林組に加えてJAXAと共同研究を行うこととなった。今回はJAXAから試料として玄武岩を粉碎した模擬月土「FJS-1」¹⁾の提供を受けた。以前にも紹介したが、FJS-1はSiO₂が約5割、Al₂O₃が2割弱を占める化学組成で、全体の99%が粒径1 mm以下となっている。他にも土質材料として珪砂8号や桜島の火山灰を用いて実験を行うこととなった。

◆粉末床溶融結合(Powder Bed Fusion)方式

東京都多摩市にある株式会社アスペクトのテクニカルセンターでは有償でPBF装置の利用ができるようになっている。普段は樹脂の造形に用いられている「RaFaEl II 150-HT」に砂を装填して実験を行った。搭載レーザーは出力60 WのCO₂レーザーで、集光スポット径は0.2 mmである。

スイッチポンで自動で積層造形が進む市販の装置を使う際にはまず粉の流動性を確認するためのリコート試験を行う。PBF法では砂を敷き均す(ならず)役目を持つリコーターを移動させて粉末床をつくるが、層厚0.3 mmのところには1 mmの粒が紛れ込むと床面に筋ができる。一方で、細かすぎる粉は互いに引っ付いて流動性が低下し塊ができるなど均一に敷きづらくなる。

結果、粒径の上限と下限を決めて分級した粉を用いることになる。

レーザーパワーとスポット径を固定したままで、掃引速度や走査線間隔、層厚を変えながら条件出しを行った。レーザー照射により模擬砂はビーズ状にガラス化し、ビーズがつながって層を形成する。層厚を薄く設定するとこのビーズが引っ掛かって引きずられ位置ズレが生じる。逆に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。最終的には、適当な基板を用意し

て、その上に1層目を固定し、2層目が離れない程度に層厚を調整することで造形を行った。

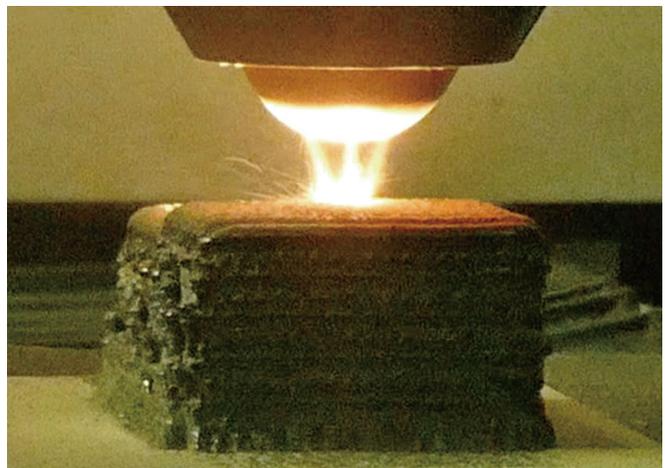
図1に(a) FJS-1、(b)珪砂8号を材料として積層した立体物を示す。(a)で20×20×高さ10 mm、(b)で10×10×高さ10 mmである。スポット径が0.2 mmと小さいために(後述するDED法に比べて)形状精度が高い造形物が得られた。

◆指向性エネルギー堆積

(Directed Energy Deposition)方式

滋賀県栗東市にある滋賀県工業技術総合センターでは有償でDED装置の利用ができるようになっている。普段は金属の造形に用いられている日本電産マシンツール(旧三菱重工工作機械)社製の「LAMDA 200」に砂を装填して実験を行った。搭載レーザーは出力2 kWのファイバーレーザーで、集光スポット径は約4 mmである。

PBF法でのリコート試験と同様に、DED法でも粉末



【図2】DED法による造形の様子

の流動性をチェックする必要がある。図2は造形の様子を示した写真である。当該装置の加工ヘッド中央にレーザーの出射口があり、その周囲3箇所から粉体が吐出される構造となっている。ノズルチップ内径がφ1 mm であるため、大きな粒の砂はつまってしまうし、小さな粒は塊をつくるので、ここでも粉の分級が必要となる。

DED方式は、レーザー肉盛りと同じ原理で積層していくため基板が必須である。基板にレーザーを集光照射し溶融池(メルトプール)を作り、そこに粉を吹き付けて溶かし材料を盛っていく。装置としては2 kWのレーザーを積んでいるが、フルパワーでは基板が熱歪みによって割れてしまうので、まずは出力100 Wで条件出しを行った。

表紙図にFJS-1を材料として積層した立体物を示す。大きさは36×36×高さ40 mmである。スポット径が4 mmと比較的大きく、砂の供給量も調整できるため、PBF方式に比べて大型の造形物が得られた。造形物の表面の筋は走査線間隔2 mm、層厚約2 mmで積層したためのものである。1層ごとに掃引方向を90° ずつ変えている。

◆強度を調べると

建設材料として評価するために、DED方式で作成した供試体の圧縮強度試験を行った。表紙図よりも小型の供試体で試験した結果、最大で約90 N/mm²が得られた。これはセメントコンクリートと同程度の強度である。一方で、PBF方式で作成した供試体はポーラス状ということもあり、約3~12 N/mm²であった。

◆大型化を目指して

これまでのところ、建設材料の作製には強度、大きさ共にDED方式が適していることが分かってきた。次の課題は、さらなる大型化・高速化である。今のところ、レーザーパワー 300 Wでの条件出しに成功している。これを500 W、1000 Wと増やすことにより短時間で大型(レンガ相当)の造形物を得られることが期待される。

本実験の遂行にあたりご協力頂いた、株式会社アスペクトの萩原氏、熊坂氏、ならびに滋賀県工業技術総合センターの斧氏、柳澤氏、片岡氏に感謝の意を表します。

参考文献

1)田島 孝敏 他, 大林組技術研究所報 No.81 (2017).

レーザー駆動定在波による 鋼管肉厚の遠隔検査法の開発

レーザー計測チーム オレグ コチャエフ、倉橋慎理
レーザープロセスチーム 藤田雅之

■はじめに

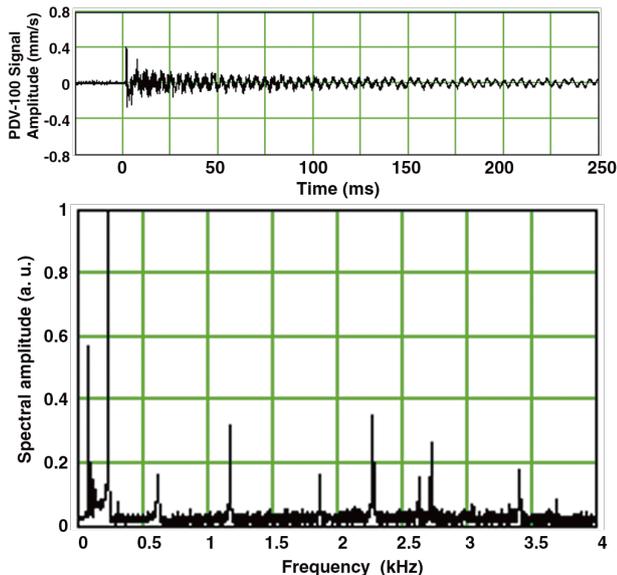
工事現場では、廃棄物を流水により運搬するため鋼管が用いられている。廃棄物の移動に伴い鋼管の内壁、特に底面が削られ肉厚が減少するので、定期的な検査が必要である。肉厚低減を遠隔から検査できる手法としてレーザー法を検討してきた。

当初は鋼管の内外壁でのレーザー超音波の多重反射を利用して肉厚を計測する手法を開発(Laser Cross No.376, 2019 Jul.)した。この手法ではレーザー光を鋼管の真下から照射する必要があるため、現場環境によっては使いにくいという課題があった。このため、レーザー光の照射位置を自由に設定できるという観点

から、鋼管の固有振動モードを利用する手法について検討した。検査用として十分な感度が得られること、鋼管の減肉に伴い固有振動数が低下すること、帯水時の鋼管にも適用可能であること、などを実験で確認(Laser Cross No.396, 2021 Mar.)した。本稿では、使用済みの鋼管を用いた振動解析実験結果と、減肉による固有振動数の変化を計算で解析した結果を中心に、研究開発の現状を紹介する。

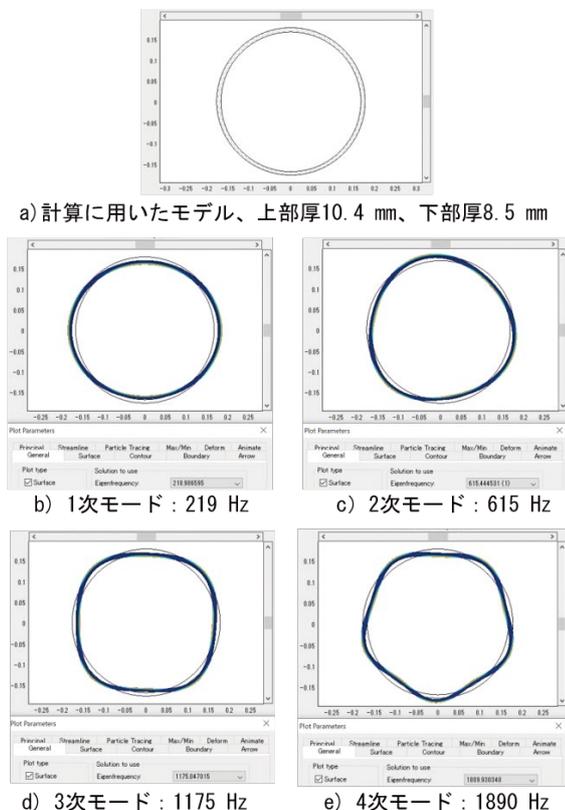
■使用済み鋼管による固有振動計測実験

現場で使用されていた鋼管(外径355 mm、初期肉厚10.9 mm)を長さ40 cmに切り出したものをサンプルとして使用した。肉厚は厚い方で10.5 mm、薄い方で8.5

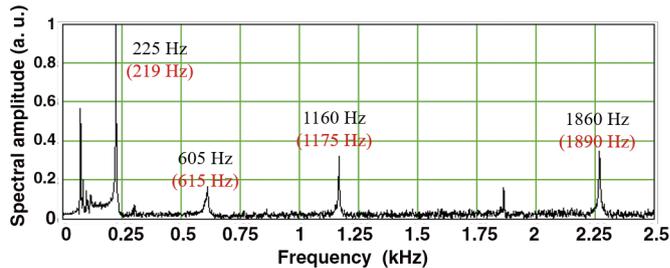


【図1】レーザー照射により鋼管に誘起された振動波形(上)と周波数スペクトル(下)

mmであった。以下、厚い側を上部、薄い側を下部と呼ぶことにする。パルスエネルギー5 J、パルス幅100 nsのCO₂レーザーを鋼管に照射し、誘起された振動を振動計PDV-100(Polytec Co.)で検出した。観測された振動波形とその周波数スペクトルを図1に示す。固有振動モードがきれいに観測されている。



【図2】固有振動数計算結果



【図3】固有振動スペクトルと実験値(黒)、計算値(赤)の比較

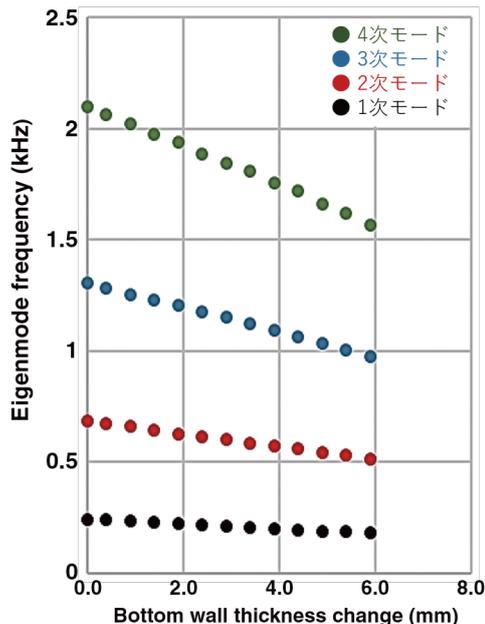
■固有振動モードの計算

有限要素法を用いて鋼管の固有振動モードを計算した。結果を図2に示す。1次、2次、3次、4次の固有振動数として、219 Hz、615 Hz、1175 Hz、1890 Hzが得られた。これを実験で得た振動数と比較したものが図3である。実験値と計算値で比較的良好な一致が得られている。

下部の鋼管肉厚を変えて計算した固有周波数の肉厚依存性を図4に示す。肉厚の減少に伴い固有周波数の減少する様子がよく現れている。固有周波数の減少率にして5%が検出可能とすれば、肉厚の減少率に換算して~10%が検出できることになる。肉厚10 mmの鋼管の場合1 mmの減肉まで検出できることがわかった。工事現場での適用に期待できる。

謝辞

本研究の一部は(株)大林組の委託研究として実施されたものである。関係各位に謝意を表します。



【図4】下部肉厚の減少と固有振動数の変化