

# 金属三次元積層造形における表層付近欠陥検出に関する研究

機械工学専攻 材料評価工学領域  
林研究室 山崎 惇史

## 1. 緒言

三次元積層造形技術 (Additive Manufacturing: AM) は、層ごとに構造を形作り、その層を積み上げていくことで、複雑な形状や内部構造を有する造形体の作成を行うことができる技術である。当初は材料として樹脂が主に使われていたが、最近では金属の積層造形技術についても Powder Bed Fusion (PBF) 法をはじめとした方法が開発されている。しかし、造形原理上空隙やひび割れ、剥離等の欠陥が生じやすく、強度の必要な部分でこの技術を用いて作成された部品を使用することは困難である。造形中に検査ができれば、直ちに欠陥部を補修した後に次の層の造形に移ることで最終的に欠陥のない造形体を作ることにつながるため、造形中の検査には意義があるが、有効な検査技術の確立には至っていない。

レーザ超音波法は、レーザを材料表面に照射し、その熱で発生する熱ひずみによって超音波を励振させ、その超音波で検査を行う方法であるが、この方法は非接触でかつ、PBF 法での造形に使われることの多いレーザを用いて検査できるという点で、造形中の検査手法として有力な候補に挙がる。先行研究[1]では、レーザ超音波法の一つであるレーザ弾性波源走査法を用いて造形後の造形体の欠陥画像化を行っている。しかし、その研究では、造形中に検査を行う仕組みの構築には取り組めていなかった。そこで、本研究では、先行研究の手法を応用し、金属粉末から構造を作成した造形体の表層付近欠陥のその場検出手法に関して検討を行う。

## 2. 実験装置と実験手法

レーザ弾性波源走査法とは、定められた領域で超音波発生用のレーザを走査させ、各点で超音波を発生させた上で固定された点で超音波を受信する超音波計測方法である[1] (図1)。欠陥のない部分にレーザを照射すると得られる超音波の振幅は小さくなる (図1上) のに対し、欠陥部にレーザを照射すると欠陥直上の部分が特別な周波数特性を持つことにより欠陥部局所共振が発生し、超音波の振幅が大きくなる (図1下)。走査領域各点で取られた波形について、振幅の二乗和をとり、その値が大きいところを黒、小さいところを白とすることで、欠陥の位置が黒となる欠陥画像を得ることができる。

実験装置として、不活性ガスを注入でき、実際の積層造形環境を実現できるチャンバーを用意する。その内部の様子を図2に示す。造形中の検査では、金属粉末から造形体を作っていく都合上、超音波を受信するトランスデューサを造形体に直接取り付けることは不可能である。そこで、造形を行うビルドプレート裏に取り付けることで、造形を妨げずに検査できる。

まず、PBF 法の手法に則り、金属粉末をレーザで溶融させ1層の構造を形作り、その層を積み上げていく。その際、意図的に

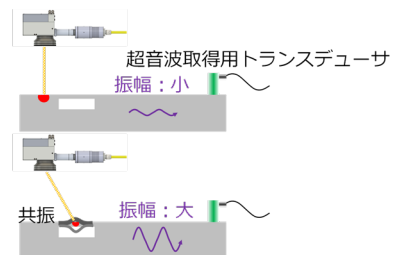


図1：レーザ弾性波源走査法の原理

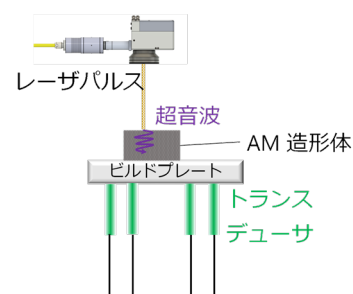


図2：チャンバー内の様子

未熔融部を導入する。その後、未熔融部直上に4 mm×4 mmの走査領域を定め、その走査領域上に等間隔でレーザ照射点を定め、各点に対してレーザパルスを照射し、超音波を発生させる。すると、超音波が造形体とビルドプレートを伝播し、トランスデューサにより受信される。各点の波形を収集し、強度が大きいところを黒、小さいところを白とすることで、欠陥位置を示す画像が得られる。黒く示された場所が有欠陥部であると考えられる場所である。

### 3. 実験結果と考察

PBF法の手法に則り、図3のような寸法で表される造形体をビルドプレート上に作製した。この造形体は、底面が5 mm×5 mmの正方形で、高さが0.5 mmの直方体形状をしており、表面から深さ0.1 mmの場所に底面が2.5 mm×2.5 mmの正方形、高さが0.3 mmの直方体状の未熔融部が導入されている。この未熔融部をレーザ弾性波源走査法を用いて検出することを目指す。

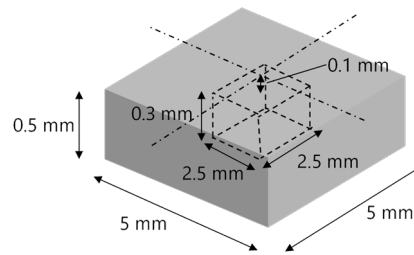


図3：作製した造形体の寸法

欠陥直上の4 mm×4 mmを画像化領域として定め、プレートに固着した造形体に対してレーザ弾性波源走査法を適用し画像化を行った結果を図4 (a)に示す。これを見ると、多くの点で局所的な超音波強度の増大が見られ、欠陥部らしきものを画像から観測することは困難であった。そこで、導入した欠陥の共振周波数が含まれると考えられる、比較的低い周波数帯のみに注目することにした。0-0.4 MHzの周波数ゲートをかけた結果得られた欠陥画像を図4 (b)に示す。これを見ると、鮮明とは言えないがおおよそ2.5 mm×2.5 mmの正方形領域に超音波強度が高い領域が集中しているように見える。このことから、造形中の造形体の表層付近欠陥を画像化できる可能性が示された。

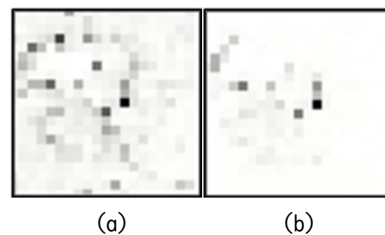


図4：欠陥画像化の結果

(a)周波数ゲートなし

(b)0-0.4 MHzの周波数ゲート

局所的な超音波強度の増大は造形時に導入された微小な欠陥や表面の粗さに起因していると考えられる。実際、本実験装置を用いて作成した造形体をやすりで削ったところ、表面の外観が大きく変化したほか、微小な空隙が多数観測された。そのため、より意図した欠陥の画像を鮮明化するためには造形体の品質を上げることが必要であると考えられる。また、表面の層を形作る際に、未熔融部として残すべき領域も熱により一部が熔融・凝固してしまい、未熔融部が想定よりも表面から深いところに形成されてしまったことも、欠陥画像が不鮮明になった理由として挙げられる。

### 4. 結言

本研究では、表層付近に意図的に欠陥を導入した、金属粉末から作製した造形体に対しての欠陥のその場検出に取り組んだ。実際の金属積層造形のプロセスに則り造形体を作製し、その際に意図的に未熔融部を導入し、それを画像化したところ、鮮明な欠陥画像が得られない、という結果になった。そこで、周波数ゲートにより低周波数帯の成分のみを用いて画像化したところ、わずかながら意図した欠陥部が強調される画像が得られた。

### 参考文献

- [1] T. Hayashi, N. Mori, T. Ueno, Non-contact imaging of subsurface defects using a scanning laser source, Ultrasonics. 119 (2022) 106560. <https://doi.org/10.1016/j.ultras.2021.106560>.