

WAAM材欠陥その場検出のための レーザ超音波法を用いた計測技術の開発

野村 和史

大阪大学 大学院 工学研究科

1 はじめに

三次元積層造形物における欠陥の直接検出法の開発が求められている。最適プロセス条件下においても、プロセスから排除できない外乱により融合不良やポロシティといった欠陥が生じることは問題となっており、それらをいかに検知するか、その検査法が試行されている。放射線透過試験 (RT) は内部の欠陥を計測するのに適した手法ではあるが、大型の装置となりやすいことや、運用上の安全性の問題があること、何よりポストプロセスでの計測であることが問題である。一般的な溶接に目を向けると、仮に欠陥が検出された場合、ガウジング等によってその欠陥部を再補修する方法も考えられるが、これも後戻り工程となることがそもそも高効率化を妨げる原因の一つとなっている。しかも積層造形物の場合は、その部材の形状によっては後戻り工程ができない場合も考えられ、複雑形状をそのまま作製できるという積層造形の大きなメリットの一つがまったく活かされないといったことになりかねない。したがって、製品完成後の計測ではなく、パスごとにその場で欠陥や異常を検知する技術の開発が強く望まれている。

そうしたインプロセス、インラインでの計測としては、プロセスパラメータのモニタリング、積層部での温度やアコースティックエミッション (AE) のモニタリング、溶融部の形状モニタリング、前層の形状計測等が試行されているが、それらの結果と欠陥発生の有無等の相関をとることによって間接的に欠陥や異常を検知するといったことに留まっている。すなわち欠陥の有無を直接検知しているわけではなく、そうしたニーズに対する手法はまだ確立されていないといえる。

そこで本研究では三次元積層造形プロセス、とくに WAAM を対象として、レーザ超音波法を用いたパスごとの欠陥検出技術の確立を目指し、基幹技術の研究とその適用性を評価することを目的としている。

2 研究方法

レーザ超音波法は、超音波探傷をレーザによる送信と受信により実現することで、非接触、狭あい部、高温場での計測を可能にする先進的な高度計測技術であり、一般的な非接触技術としての報告も多くあるほか、金属積層造形材の欠陥その場計測法への適用性が考えられる技術のひとつである。我々は、WAAM による積層材に対しレーザ超音波法を適用し、内部欠陥を検出する手法を確立したいと考え適用例も報告している¹⁾。既報では、送受信レーザを WAAM 積層材に照射し、導入した人工欠陥からの反射を捉え、開口合成法 (SAFT, 多数の送受信超音波信号情報 (x, t) から伝搬面内の空間情報 (x, z) を計算する欠陥位置可視化法。図 1 参照) を用いて欠陥指示を達成したが、機械加工が入った後を想定した平面上への照射に限定したものであった。WAAM の積層形状は一般的に狭い非平面であると考えられる。そこで本研究では、図 2 に示すように非平面状態に照射したにも関わらず、既報と同様に平面扱いした場合と、曲面形状を考慮した場合、それぞれの開口合成結果を解析的に比較し、照射点の空間情報に欠陥がある際の欠陥指示の位置や SN 比に与える影響を調査した。

解析には超音波伝搬解析ソフトの ComWAVE (伊藤忠テクノソリューションズ製)²⁾ で FEM 解析を用い、レーザ照射による超音波励起は 5 MHz の応力波を仮定した。

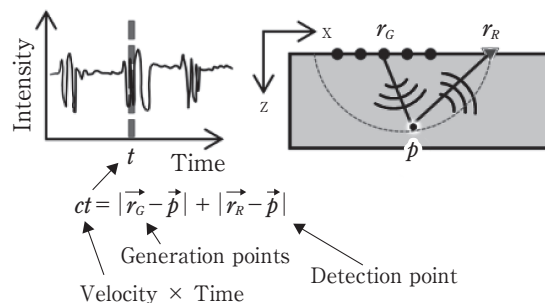


図 1 開口合成法の概要

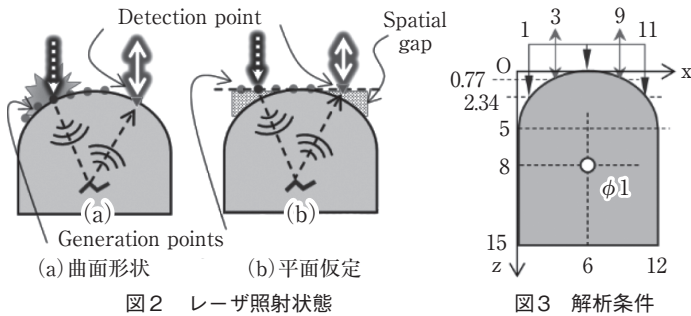


図2 レーザ照射状態

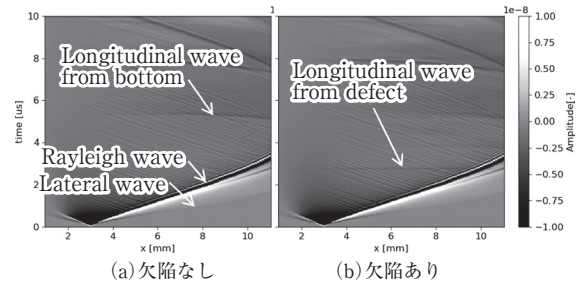


図4 受信点3mmにおけるB-scope

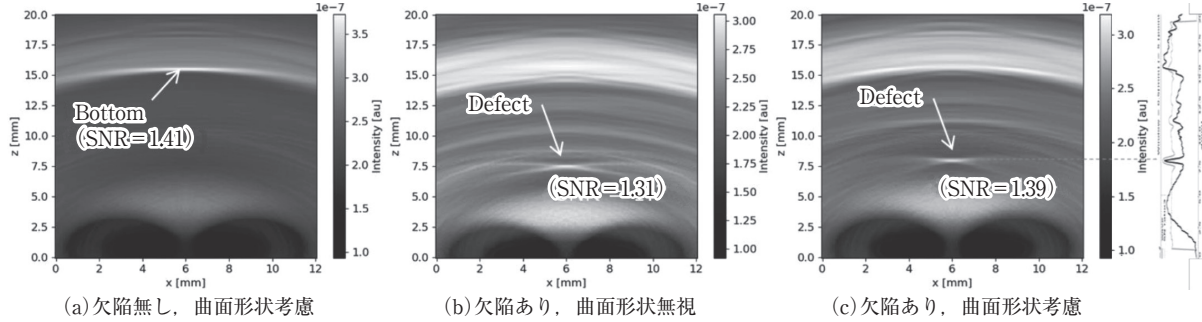


図5 各条件での開口合成結果 (図4の表面波をカット後かつ受信点9mmでの反転波形も合成)

3 主な研究成果

図3のような形状を想定した。z = 0 ~ 5 mm にかけて楕円形上を有し、z = 8 mm にφ1 mm の空孔欠陥を模擬した。表面の12mm幅に対して送信範囲はx = 1 ~ 11mmの間を101点、受信点はまずx = 3 mmの1点で設定し、超音波の伝搬情報として図4のようなB-scopeを取得した。表面波であるラテラル波、強力なレイリー波、底面からの縦波反射波が確認でき、欠陥がある場合は、表面波と底面反射波の間に縦波反射が見られた。さらに受信点をx = 9 mmに設定し同じ送信を行うと左右反転したB-scopeが得られる。これらに対し、表面波部分は幾何学的にカットした上で開口合成を行った。

図5は各種条件での開口合成結果である。曲面形状の考慮の有無は、送受信点のz座標を考慮するか否かである。図において界面や反射源の存在により空間上に指示が見られるが、ここで中心の強度分布(z)に注目し、SN比を(最大強度/周辺のRMS値)として計算した。

まず同図(a)のように欠陥がない場合は、検査空間上に特に指示はなく裏面を指示する強度が明瞭に現れる。一方同図(b)(c)のように欠陥がある場合は、曲面形状を無視しても考慮しても欠陥位置に相当する部分に高SN比の指示が見られることがわかる。すなわち、ここで想定した表面の曲面形状と送受信位置下であれば、特に形状を考慮せずとも比較的判別可能な欠陥指示が得られるということがわかった。しかし、曲面形状を考慮した場合の方が欠陥のSN比は少し高く、周辺のノ

イズも少なかった。より複雑な欠陥を明瞭に示すには表面形状を考慮した計測が必要になると考えられる。

4 おわりに

本報では、レーザ超音波によるWAAM積層材への内部欠陥検出法の確立に向けて、WAAM表面形状が欠陥可視化法である開口合成時にどのような影響を与えるかを、簡素化した表面形状と欠陥を想定した超音波伝搬シミュレーションを用いて基礎的に検討した。結果として、本報で検証した範囲においては表面形状の影響を考慮せずとも比較的強い指示が得られることがわかった。今後は、この結論の適用範囲の明確化や、模擬欠陥試験体や実試験体を用いた実験による実証が必要であるが、その際は超音波の適切な周波数処理や、レーザ機器の物理干渉、受信点の感度確保等の実地的な課題が残る。とはいえ、仮に表面形状の影響がもし大きなものであった場合は、実際にはレーザラインセンサ等で曲面情報を逐次取得する必要がある。本結果により、必ずしも曲面形状を取得する必要はないことが明らかになり、実計測への応用を考えるのに有用な情報が得られた。また、このことを解析的に検証する一連の手法を確立したといえよう。

参考文献

- 1) K.Nomura, T.Matsuida, S.Otaki, S.Asai : Welding in the World, 66(2022)2271-2280
- 2) Y.Ikegami, Y.Sakai, H.Nakamura : e-Journal of Nondestructive Testing, 15, 06(2010)