

10 非接触測定機を利用した溶接継手の評価手法の検討

久保田将矢、門格史、前田圭治

A study of evaluation method of welded joints using noncontact measuring machine

KUBOTA Shoya, KADO Tadashi and MAETA Keiji

Laser welding can be performed at high speeds, but the shape of the start and end ends may differ from the design shape. The difference in shape directly affects strength, so it is necessary to reflect the shape and physical properties of the actual specimen in the model when evaluating strength in CAE analysis. In this study, we focused on the shape of welds and developed a method to reflect it in the analytical model. As a result of analyzing the actual shape model, higher stresses at the interface of the weld were obtained for the actual shape model than for the design shape model.

キーワード：溶接継手、レーザ溶接、形状計測、CAE 解析

1 結 言

レーザ溶接は、レーザを活用した金属加工技術の一分野で、自動車や精密加工機器など様々な分野で活用されている⁽¹⁾。レーザの照射はコンピューターで制御されており、そのパラメータを変更することで自由な溶接形状を高速度かつ低入熱で作成することができる。しかし、設計した形状で正確に施工することは難しく、溶接ビードの長さや太さが設計と異なる場合や、始末端の形状が鋭利になることも多い。こうした設計形状との差が、引張強度や疲労強度に対して影響を与えるため、FEM 解析を行う際に解析モデルに実形状を反映させることは、解析精度の向上に必要な要素である。しかしながら、溶接形状を三次元測定して、詳細に FEM 解析を行った事例は少ない。また実形状からモデルを作成するためには、複数のソフトウェアを経由してデータを加工する必要があるなど、その手法は煩雑であり整理されていない。そこで、本研究ではレーザ溶接を用いて試験片を作成して、試験片の形状データを基に FEM モデルを作成する方法について検討した。また、実際の形状データから作成した FEM モデルと設計形状から作成した FEM モデルの解析結果について比較したので報告する。

2 試験片作成

本研究では、引張せん断試験片を対象としてモデル作成手順の検討を行った。作製した試験片を図1に示す。材料は、自動車の車体に使用されている 590MPa 級の高張力鋼板を用いた。試験片は、重ね継手でレーザ溶接により作製した。今回は作製した試験片の中から、溶接ビードが引張り方向に対して 90°であり、板の隙間がない試験片で検証を行う。試験片の詳細な寸法を図2に示す。



図1 引張りせん断試験片

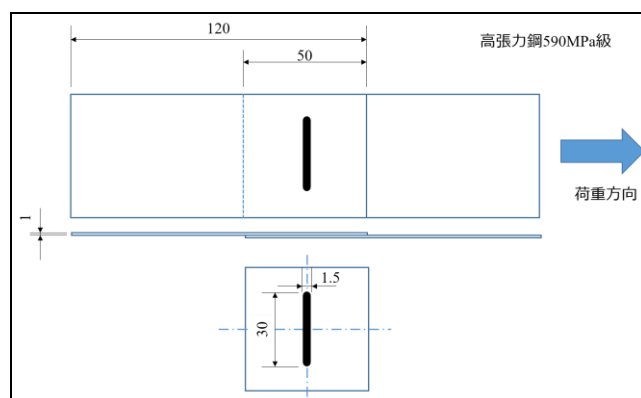


図2 試験片寸法

3 試験片の測定

作成した試験片の形状を当センターが保有しているブルカーアリコナ社製のインフィニートフォーカス G5⁽²⁾ (図3) を用いて測定した。本装置は、数 mm から十数 cm 程度の大きさの測定物を 1 μ m 単位の高精度な測定に適した測定機である。今回は試験片の FEM モデル化について技術的な課題から 2 つ仮定条件を設定した。1 つ目は、FEM モデルは表面のみ測定データを用いて三次元的な形状を有することとして、底面は水平であると仮定した。これは表面と比較して裏面は凹凸が小さいことと、現時点では、表面と底面を測定してその測定データから FEM モデルを作成するのは難易度が高いためであ

る。2つ目は、溶接部と母材部の境界は試験片の厚み方向に対して平行であり、板厚方向の上下の要素では材料物性値が変化しないと仮定した。

測定データを図4に、測定した試験片のデータと設計形状との比較結果と比較場所を表1と図5に示す。今回の試験片は、ビードの長さ、幅を合わせるように溶接を実施した。そのため、ビードの長さはほぼ一致している。しかしながら、ビードの幅は設計値と異なっており、先端付近は太く、その他の場所では細くなっているなど、幅が一様ではないことが分かる。

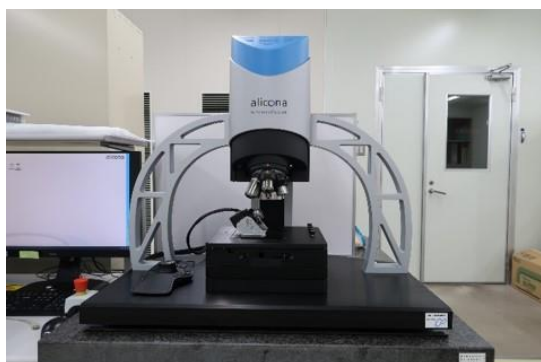


図3 非接触測定三次元測定装置

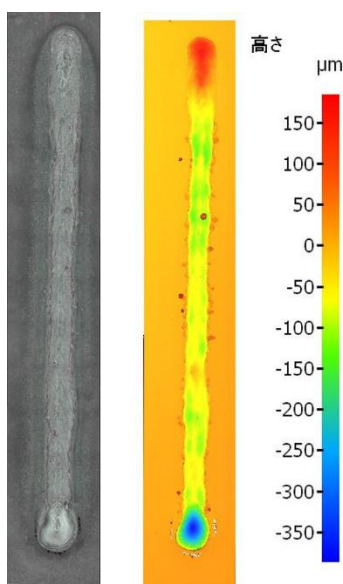


図4 測定データ

表1 測定データと設計形状の比較

	設計形状	測定形状
ビードの長さ	30mm	29.4mm
ビードの幅1	1.5mm	1.65mm
ビードの幅2	1.5mm	1.24mm
ビードの幅3	1.5mm	1.87mm
溶接面積	44.4mm ²	40.9mm ²



幅の測定箇所

図5 比較場所

4 測定データの FEM モデル化

測定機から出力したデータを処理して CAD 形式のデータへと変換した。データの変換には、3D SYSTEMS 社製の Geomagic Design X⁽³⁾ を使用した。その際に、計算コスト（時間）を短縮するため、表面のスパッタの削除や小さな凹凸を平滑化する処理を行った。

変換した CAD データは測定を行った溶接部とその近傍のみであるため、測定していない母材部を Dassault Systemes 社製の Solid Works を用いて試験片の重なり部分と同じ大きさとなるように、CAD データを追加した。完成した CAD データを図6に示す。

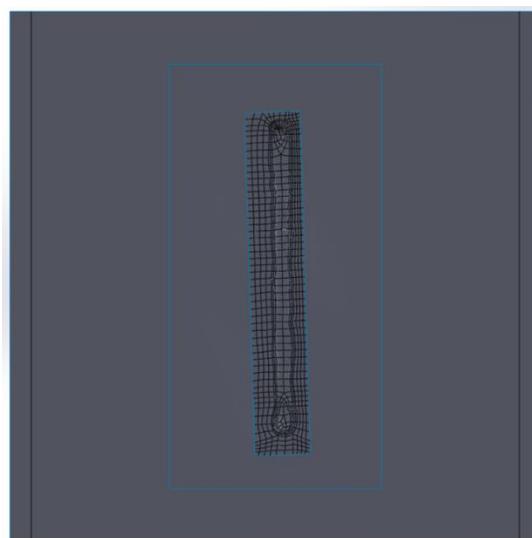


図6 作成した CAD データ

更に、作成した CAD データを要素分割して FEM 解析用のメッシュを作成した。最終的に解析を実施するメッシュは、六面体1次要素として作成する必要があるため、Hyper Mesh を用いて CAD データに対して四角形1次のシェル要素を作成した。シェル要素を自作した専用プログラムにより、実際の溶接ビードと同じ高さになるように押し出してソリッド要素を作成した。この専用プログラムは、溶接部の結合と母材部の二重節点化を自動的に行う機能を

有しており、メッシュ作成にかかる時間を大幅に短縮できる。これらの工程で作成した FEM モデルを図 7 に示す。

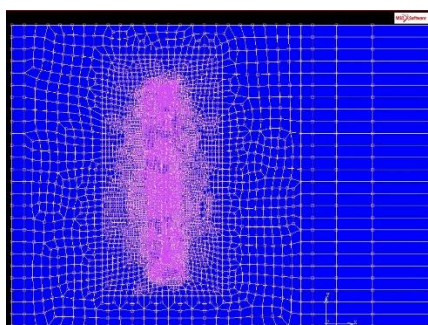


図 7 作成した FEM モデル

5 FEM 解析の結果

作成した FEM モデルに対して物性値の追加、境界条件の設定を行い、解析を実行した。FEM 解析に使用したソルバーは、MSC Marc 2010 である。

解析結果を図 8 に示す。以下、コンター図は全て強制変位を 1.2mm 加えたときの様子である。表示は界面の相当応力である。比較対象として、設計形状で作成したモデルでの解析結果を同時に並べている。全体的な応力分布から両者の結果を比較すると、ほぼ一致している。この結果から、今回検討したモデル作成手順やプログラムには問題がないと考えられる。

続いて局所的な値について確認する。図 9 にビードの先端付近を拡大した様子を示す。表示は図 8 と同じく界面の相当応力である。全体的な応力の分布は似ているが、溶接ビード先端付近に着目すると、測定データから作成したモデルの方が設計形状と比較して高い値を示している。これは、設計形状と測定データでは始末端部の曲率が異なっていること、溶接ビードの幅が一様ではないため、応力が均等に分配されていないことが原因として考えられる。また、図 10 に示すように、ビードの先端も始点と終点では同一形状にならないため、応力にも差が生じる結果が得られる。

設計形状の FEM モデルからは得られない結果が、測定データから作成した FEM モデルからは得られた。これらの結果は、破断場所の推定や構造の補修、補強計画の検討に役立てることが可能である。形状測定したデータから FEM モデルを作成して解析を行うことは、非常に有効であると考えられる。

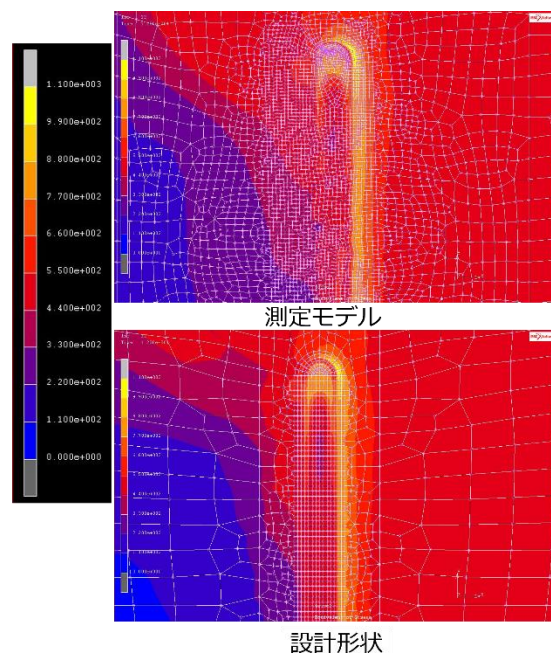


図 8 測定データと設計形状の結果 (全体)

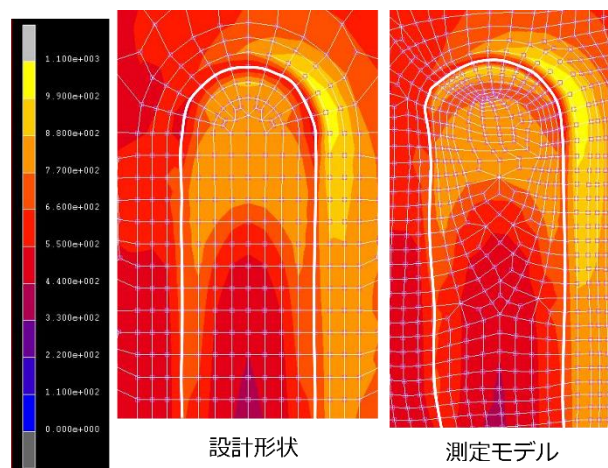


図 9 設計形状と測定モデルの先端における結果比較

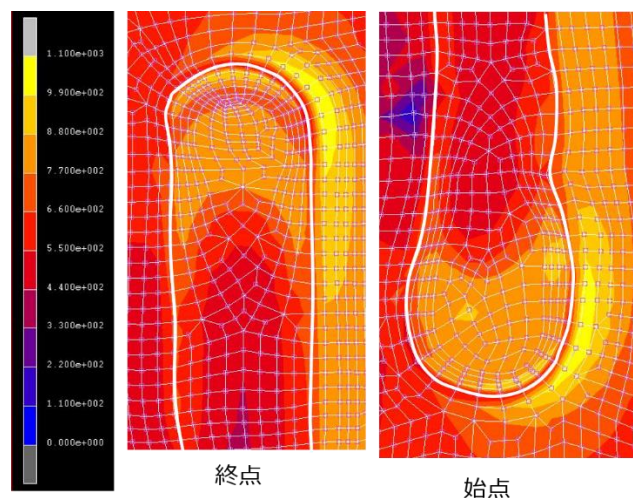


図 10 測定モデルの始点と終点の差

6 結 言

本研究では、形状測定データから FEM モデルを作成するための手順について検討した結果、以下の知見が得られた。

- ・FEM モデルを作成する際に煩雑な、溶接部の結合と母材部の二重節点化を自動的に行う、専用プログラムを開発したことで、大幅な時間短縮に成功した。

- ・設計形状の FEM 解析と測定データから作成したモデルによる FEM 解析を比較したところ、測定データの方が高い応力値が得られた。

今後は適用できる溶接形状の拡大と板と板の間に隙間がある場合のモデル作成について検討を行う。また、FEM 解析の結果と引張せん断試験の結果を比較する。

7 謝 辞

本研究の遂行にあたり、広島大学大学院先進理工系科学研究科の山本元道教授には、試験片の作成にご協力いただいた。深く謝意を申し上げます。

8 参考文献

- (1) 溶接学会・日本溶接協会：溶接・接合技術入門（2023 年）
- (2) 久保田他：広島県立総合技術研究所西部工業技術センター研究報告、64、3（2021）
- (3) 3D SYSTEMS Geomagic Design X 3D リバースエンジニアリング用ソフトウェア（3dsystems.com）
<https://ja.3dsystems.com/software/geomagic-design-x>（参照 2025-05-22 確認）