

(レーザ溶接によるテーラードブランク材のプレス製品への適用に関する研究)

16 メッシュサイズを考慮した溶接部の材料物性の算出とサブストラクチャー法適用による計算時間の短縮化

安部 重毅, 森下 勇樹, 坂元 康泰

(Study for application to press products of Laser Welding in Tailored Blank Sheets)
Reducing the Time of Tailored Blank Press simulation with Substructure Method

ABE Shigeki, MORISHITA Yuki, and SAKAMOTO Yasuhiro

In the press simulation of the tailored blank, if the weld bead is replaced with the elements one millimeter in width, the calculation cost becomes large. So it is difficult to represent the weld bead in the tailored blank model.

This paper shows two methods for reducing the calculation time of the tailored blank. One method is that the elements five or more millimeters in width are defined as one complex material consisted of weld bead and normal blank. The other method is that the substructure method is used for limit the calculation area of the tailored blank.

キーワード：プレス成形，レーザ溶接，テーラードブランク，CAE

1 緒言

自動車業界において、テーラードブランク(以下TB)を用いたプレス成形部品の適用範囲が増加しつつある。それに伴いTBのプレスシミュレーションによる不具合の予測も頻繁に行われるようになった。しかし、実務レベルにおいてはTBの溶接ビードは無視される場合がほとんどであり、その要因は大きく2つあげられる。1つは、シミュレーションで使用する材料物性値の取得が困難であること、もう1つはビードの幅が狭いため、その幅に合わせてブランクのメッシュを作成すると膨大な計算時間を要することである。

本報では、実務上で妥当な計算時間内でシミュレーションの計算を完了することを前提とした上で、溶接ビードを表現することにより、計算精度を向上させ、将来的に溶接ビードから発生する割れを正確に判定することを目標とする。その手法として、実際には溶接ビードと母材よりなる複合エリアを、1つの材料物性で表現できる要素群(以下、溶接部)として定義し、シミュレーションを行う手法を提案する。これにより、TBを用いた成形に関してマクロな評価が可能となる。

次に、“サブストラクチャー法”を適用して、この溶接部近辺の要素を切り出し、その部分を実際の溶接

ビード幅で、かつ溶接ビードの材料物性を入力した要素を含む部分メッシュに置き換えて再計算した事例を紹介する。

2 解析時間の短縮と高精度化

2.1 溶接ビードの表現により発生する問題

TBのプレスシミュレーションは、実務レベルで広く計算され始めているが、溶接ビードとその周辺の物性を正確に入力し、計算することは、計算コストにおいても、材料物性の取得においても困難である。特にレーザ溶接においては、図1に示すようにビード幅が約1mm程度と狭い。溶接ビードを正確に表現する場合、1mm幅のメッシュを用意する必要があり、計算時間に顕著な影響を与える。例えば、プレスシミュレーション

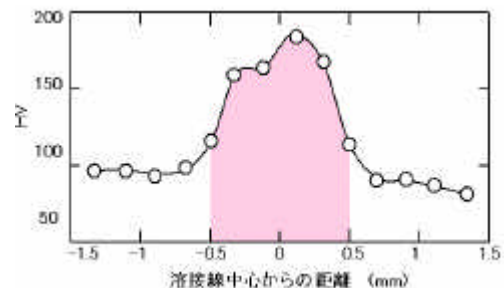


図1 YAGレーザの溶接線近辺硬さ

ンPAM-STAMPにおいて、図2のように5mm幅と1mm幅の要素が混在する実際に近いTBモデルと、全て5mm幅の要素で構成される溶接ビードを除いたTBモデルの各計算をした場合には、プレス成形の境界条件、要素数が同じであっても、実際に近いモデルの計算時間は溶接ビードを除いたモデルより約3~4倍程度に急増する。

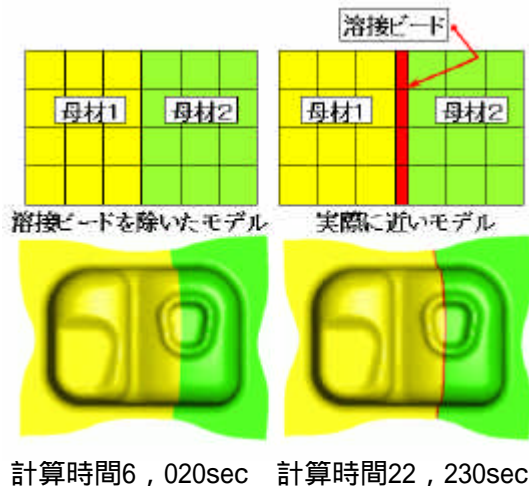


図2 詳細要素の有無と計算時間

2.2 溶接部エリアとしての表現

そこで、図3の提案モデルのように溶接ビードと母材の両方を含む複合エリアを溶接部として定義し、母材の要素サイズと同じ溶接部の要素で構成するブランクをTBとして表現する手法を提案する。この手法により、溶接ビードの材料物性を考慮したTBのシミュレーションが可能となる。

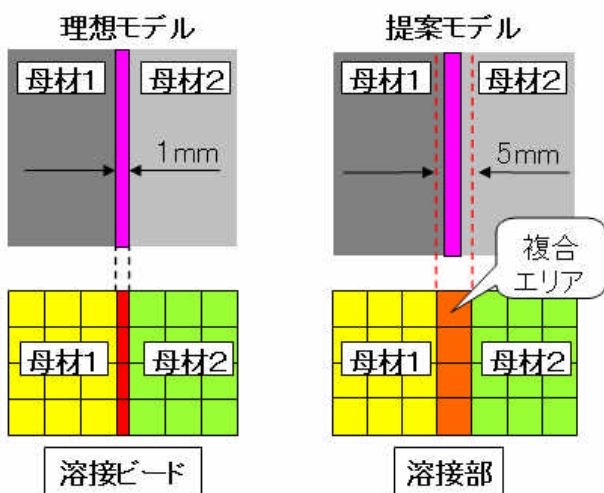


図3 理想モデルと提案モデル

ただし、溶接部の要素に含まれる母材と溶接ビードの占める面積の比率により、材料物性の重要な項目の

1つである応力-ひずみ線図が変化する。例えばJIS5号試験片の引張試験においては、計測部幅が25mmであることより、溶接ビード幅を1mmとすれば、母材と溶接ビードの面積比は24:1になるが、JIS13号B試験片の引張り試験においては、計測部幅が12.5mmより、面積比は11.5:1となる。実際、各試験片を引張り、応力-ひずみ線図を取得すると、図4が示すように異なる線図が得られた。つまり、溶接部の材料物性を取得するためには、溶接部の要素サイズにより決定される母材と溶接ビードの面積比を考慮する必要がある。

ここでは、母材とTBをそれぞれJIS5号試験片形状で引張試験して取得した応力-ひずみ線図を用いて、溶接線を含む任意の幅の応力-ひずみ線図を同定して、これを溶接部の物性値とした。この値をプレスシミュレーションに入力し、解析を行った。

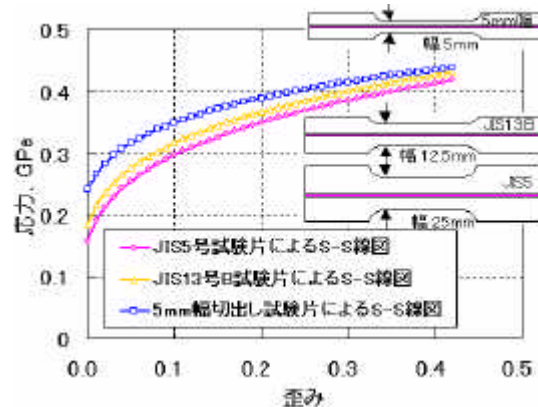


図4 TBの計測部幅と応力-ひずみ線図

2.3 サブストラクチャー法の適用

理想モデルのように、最初から1mm幅の要素をブランクモデルに組み込むシミュレーションは、計算時間の観点より、実務レベルにおいては不可能である。そこで、三章の提案モデルを用いた計算の後に、サブストラクチャー法に基づき、溶接部近辺のみを抽出、1mm幅の溶接ビード要素を含む詳細なメッシュに置

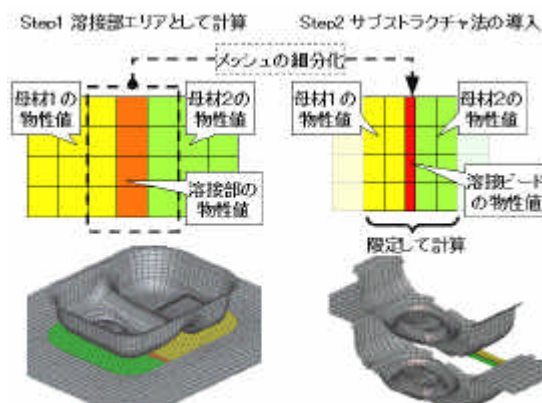


図5 サブストラクチャー法の適用例

き換えて再計算を実行する（図5参照）。1mm幅の溶接ビード要素の導入により 計算コストは増大するが、ブランク自体が縮小されるため、計算対象要素数を削減でき、最終的には実務レベルの計算コストとなる。

3 本手法の適用例

溶接部エリアとして定義する手法にて図6のモデルに対し、表1の境界条件にそってTBのプレスシミュレーションを行った。プレスシミュレーションソフトはPAM-STAMPを使用した。

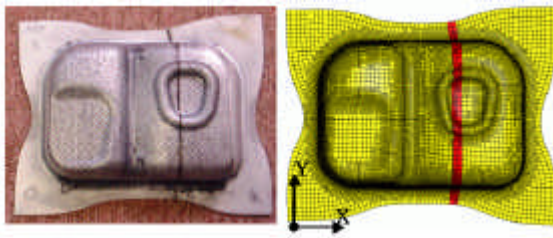


図6 計算モデル

表1 シミュレーション条件

成形方法	ダブルアクション
しわ押え力	50kN
ブランク材料	SPCC同士を溶接したTB
板厚	1.16mm（公称1.2mm）
要素サイズ	2.5mm（母材，溶接部とも）
溶接部幅	2.5mm × 2列で5mm
ブランク寸法	130mm × 160mm（縦 × 横）
溶接位置	中心からX（横）方向へ35mmの位置に溶接線（YAGレーザー）
Adaptive Mesh	1回
成形深さ	30mm

実成形品の形状は、図7に示すロボットアーム接触型形状計測装置（Vectron）を用いて実測し、その形状計測結果とシミュレーション結果とを比較した。フランジ形状の比較においては形状、寸法供ほぼ実物と類似した結果が得られた。

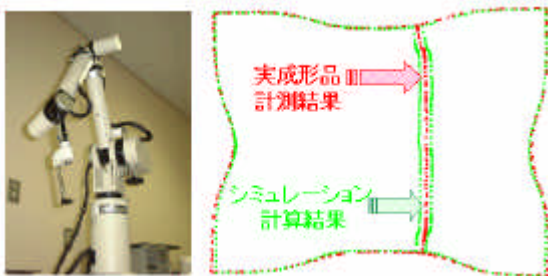


図7 TBの成形品のフランジと溶接ビードの計測

次に、溶接ビード周りに限定して評価を行った。ビード位置の評価を明確に行うため、Z方向から見て変位量が多い位置（中心からY方向に25mm）に溶接ビードを変更した。まず、1mm幅の溶接ビードの材料物性を同定により求め、母材2.5mm幅要素と溶接ビード1mm幅要素を混在させたブランクを用いてシミュレーションを行った。計算コストはかかるが、実際の条件に最も近いシミュレーション設定であり、これをType Aとする（図8参照）。5mm幅の溶接部エリアを導入したTBモデルのシミュレーションをType Bとし、Type Bの結果に対してサブストラクチャー法を用いたシミュレーションをType Cとする。Type A~C、および溶接線の設定をしない場合の4種類について溶接線の成形後の予測移動位置とひずみ分布を比較した。

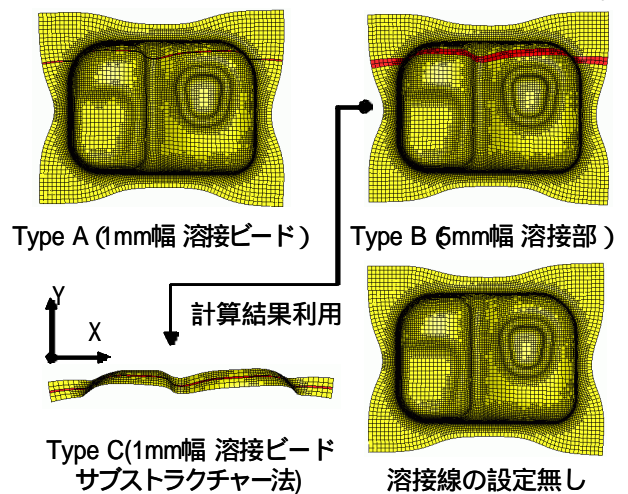


図8 実行モデル

図9に、図8の4モデルのシミュレーション結果より得られた各溶接線のXY平面での予測移動位置を示す。溶接線設定無しの場合では中心からY方向に25mmのX方向のノード群を仮の溶接線としてプロットした。その結果、ビードのモデリング方法には関係なく、ほぼ同一線上にプロットされた。溶接線位置に関して、ビードは母材のエリアと比較して狭い限定されたエリアであるため、溶接ビード位置は、溶接ビードに与え

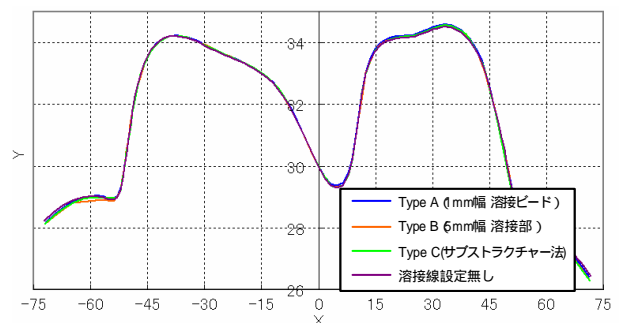


図9 溶接ビードの位置

る物性値ではなく、母材に与える物性値や摩擦係数でほとんど決定することが分かった。

図10に、4つのTBモデルのシミュレーション結果より得られた溶接線のひずみ分布を示す。縦軸は最大主ひずみ ϵ_x を、横軸は最小主ひずみ ϵ_y を示す。実際に近いモデルであるType Aのひずみ分布に近いモデルは、Type C、Type B、溶接設定無しの場合である。この例の場合では、サブストラクチャー法の適用によりわずかな計算時間の増加で、計算精度が向上したことが確認できた。

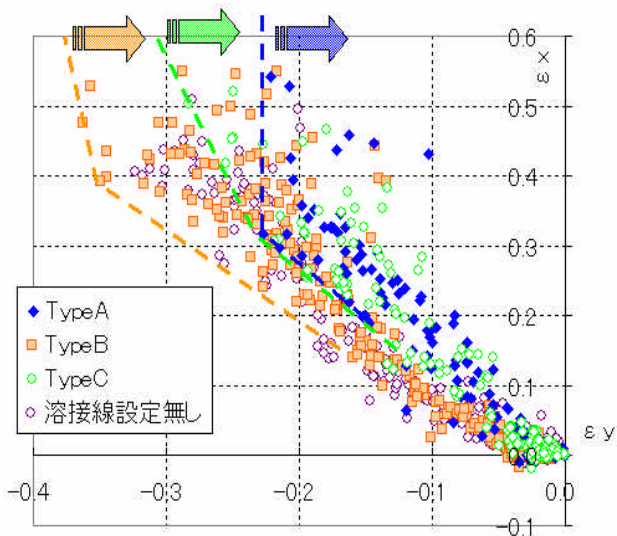


図10 溶接線のひずみ分布

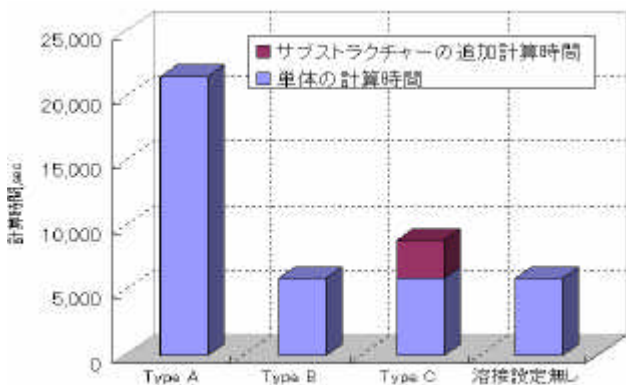


図11 TBの計算時間

図11はType A、Type B、Type C、溶接線設定無しの場合の各計算時間を棒グラフで示した図である。Type Aは、21,530secに対し、Type Bは、5,886secであり、溶接線設定無しの場合とほぼ同じ計算時間であった。Type Cの場合は、Type Bの計算結果を利用して計算を行うため、Type Cのサブストラクチャーの計算時間とType Bの計算時間の和で評価すると、8,890secとなった。

Type CはType Aと同様に、溶接ビード1mm幅の要素を含んで計算したにも関わらず、半分以下の計算コストとなった。また、Type CはType Bに比べ、1.5倍の計算時間の増加に留まった。ただし、母材と溶接ビードの要素サイズの比が本例題と異なる場合は、Typeごとの計算時間の比も変わると想定される。

4 結 言

溶接ビードと母材を含む任意の幅の複合エリアを、1つの材料物性を持つ溶接部として定義し、溶接部の材料物性を同定することにより、ほぼ同じ計算コストで、溶接ビードに物性を加味したTBのシミュレーションが可能となった。

また、サブストラクチャー法を用いて溶接ビード周りのみの部分詳細解析を行うことにより、計算コストを抑えつつ、かつ溶接ビード幅の細かい要素を含んだシミュレーションが可能となった。

シミュレーションの結果、溶接線位置に関しては溶接ビードのモデリング有無に関わらず、その差はほとんど生じなかった。これは、溶接ビードのエリアが母材のエリアに比較して、狭いことに起因する。

ひずみ分布に関しては、サブストラクチャー法の適用により、計算精度の向上が確認できた。今後、溶接部から発生する割れの評価を行う場合には、有効な手段であると考えられる。