

# 自動車の軽量化を実現するために必要な新接合プロセスの開発（第1報）

## 3 高張力鋼板に適用可能なレーザー溶接継手ビード形状の開発

門 格史, 大川正巳, 菊田敬一, 大石 郁\*, 坂村 勝\*, 竹保義博\*

Development of new welding process necessary to achieve automotive lightening (1<sup>st</sup> Report)

Development of laser welding bead shape that can be applied to welding of high-strength steel sheets

KADO Tadashi, OHKAWA Masami, KIKUTA Keiichi, OHISHI Kaoru, SAKAMURA Masaru and TAKEYASU Yoshihiro

Recently, high-strength steel sheet is used for the material for car. However, it has high danger of breaking at weld line by the concentration of stress compared with mild steel sheet. In this study, the decrease method of the concentration of stress on welding of high-strength steel sheets was examined. The following results about the laser welding bead shape were obtained from the tensile shear test and computed analysis.

(1)The stress was concentrated on the start and stop edges of the straight line bead shape.

(2)The concentration of stress on weld line was reduced by the bead shape of C and parentheses compared with the straight line bead shape.

(3)Welding intensity of bead shape of C and parentheses was higher than the straight line bead shape regardless of the loading direction.

キーワード：レーザー溶接, 高張力鋼板, リモートレーザー, 解析, 応力集中

### 1 緒 言

近年、自動車等の輸送用機器には、地球環境問題への対応や衝突安全性の向上を目的として、その部材に高張力鋼板が多く用いられるようになってきた<sup>1)</sup>。また、その接合方法では、抵抗スポット溶接が一般的であったが、それに変わる溶接方法として、レーザー溶接が注目されている。レーザー溶接の特徴は、エネルギー密度が高く、非接触加工であることから高速高精度で自由なビード形状の溶接が可能なることである。このため、これまでの抵抗スポット溶接に比べて、溶接時間の短縮や抵抗スポット溶接に必要なフランジ部を縮小できることから車体の軽量化が可能となる。また、近年、これまでより更に高速溶接が可能となるリモートレーザーが開発された。このリモートレーザーは、ガルバノミラーと呼ばれる光学系を使用して、そのミラーの角度を変換することでレーザー光を移動させることから、これまでの溶接ロボットによる移動よりも時間が大幅に短縮でき、溶接時間全体の短縮が可能となる特徴がある<sup>2)</sup>。

これらの優れた特徴を持つレーザー溶接であるが、高張力鋼板を接合する上では、母材強度が高いため、溶接部に応力が集中すると溶接部から破壊する可能性が高い。

このため、応力集中を考慮したビード形状を導出する必要がある。これまでにレーザー溶接のビード形状と継手強度についての知見が報告がされている<sup>3)</sup>。従来の抵抗

\*広島県立総合技術研究所東部工業技術センター

スポット溶接からレーザー溶接に代替した場合、そのビード形状には溶接ビードの端部が存在するが、その端部を含めた応力分布の特徴に着目した研究はあまり存在していない。そこで本研究では、その応力分布の特徴に着目して、リモートレーザーや高張力鋼板に適用可能なレーザー溶接継手ビード形状の開発を行った。その研究内容は、引張せん断試験時の各ビード形状の応力分布と高張力鋼板に適用した際の破断時の特徴について実験と解析から検討したので報告する。

### 2 実験方法

#### 2.1 溶接継手ビード形状モデル

本研究で実験と解析に使用した溶接継手ビード形状を図1に示す。各形状のビード形状の面積 $S$ は、図に示すとおりほぼ同一面積である。選択したビード形状は、レーザー溶接では一般的な直線形状と今回の課題である応力集中を緩和する目的から形状部分にR部をもつC形状およびかっこ形状とした。また、かっこ形状については、かっこ間の距離が広い場合でも使用が可能となれば、更に活用範囲が向上すると想定されるため、かっこ間の距離の影響について、かっこ間距離 $L=20\text{mm}$ に加え $L=30, 40\text{mm}$ の検討も行った。なお、溶接継手ビード形状の解析と引張せん断試験での引張方向0度、90度は、図中に示す方向とした。

#### 2.2 溶接継手ビード形状の実験方法

供試材は980MPa級の非めっきの高張力鋼板で板厚1mm

の鋼板を試験サイズ 100mm×50mm に切断して使用した。試験片は、表 1、図 2 に示す溶接条件、試験片作製用治具および YAG レーザ加工機 (MW4000 住友重機械工業(株)製) により作製した。その作製方法は、2 枚の鋼板を重ねて、その両サイドを拘束して状態で、図中の枠に示す部分に各ビード形状にレーザ照射して作製した。なお、鋼板間の隙間は、鋼板間に 0.1mm のシムテープを挟むことで設けた。なお、かつこ形状 L=40mm の引張方向 0 度の試験片は、熱影響部が引張せん断試験の結果に影響をあたえることを確認したため、この条件については試験片サイズ 100×60mm のものを使用した。作製した試験片は、万能試験機 (AG-I 250N 島津製作所製) を使用して引張方向 0 度、90 度のそれぞれについて引張せん断試験を実施した。また、試験時は、高速ビデオカメラ (IPX-VGA210 IMPERX 社製) を使用して 200fps/sec の撮影条件により試験片の溶接部付近を撮影し、破断直後の試験片の破断位置を調査した。

### 2.3 溶接継手ビード形状の解析方法

各溶接継手ビード形状の解析は、I-DEAS (EDS 社製) を用いて FEM 線形静解析を行った。解析モデルは、図 3 に示すとおりである。そのモデルについては、試験片長さ=100mm、板幅=50mm、板厚=1mm とし、その鋼板 2 枚を重ねた部分を 50mm、鋼板間の隙間=0.1mm とし、各ビード形状について重ね合わせて接合したものを拘束間距離=100mm で固定し、引張荷重 100N で矢印方向に引張り、解析を実施した。その引張方向については 0 度、90 度についてそれぞれ実施した。

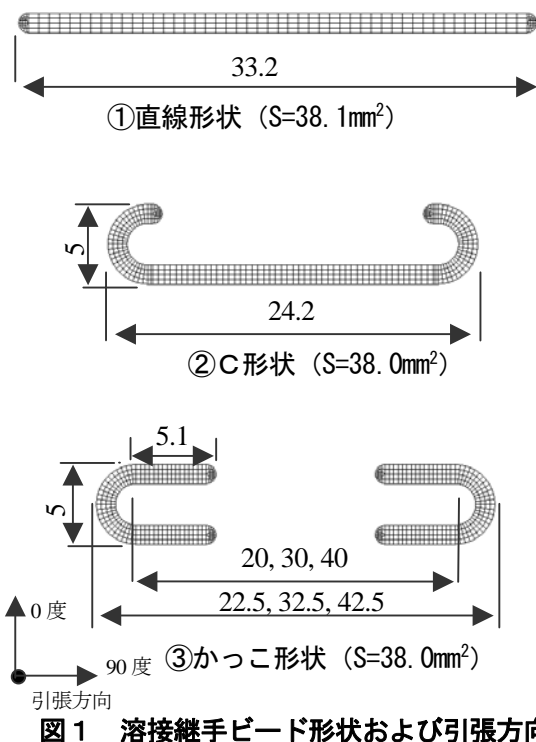


図 1 溶接継手ビード形状および引張方向

表 1 引張せん断試験片作製の溶接条件

レーザー出力 (W)	2500(発振器)
焦点位置 (mm)	0
溶接速度(m/min)	1.5
鋼板間の隙間 (mm)	0.1

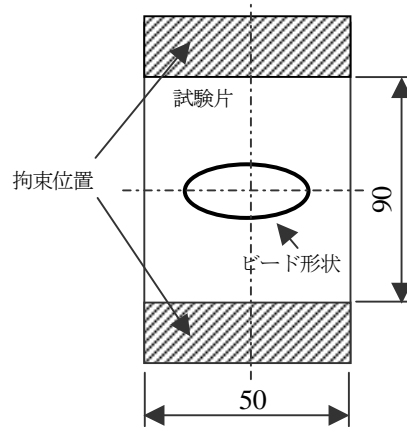


図 2 引張せん断試験片作製用治具

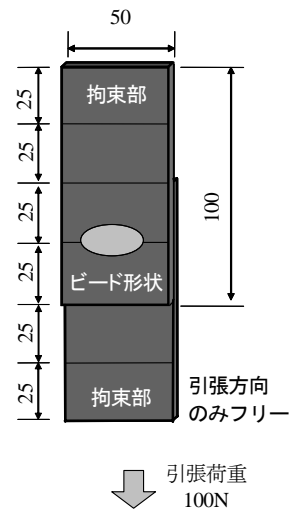


図 3 FEM解析モデル

## 3 結果および考察

### 3.1 実験結果および考察

各溶接継手ビード形状の引張せん断試験の結果を図 4 に、引張せん断試験による試験片の破断形態について図 5 に示す。なお、破断位置は、図 5 の中の破断直後の外観写真において、白枠で示す箇所である。まず、直線形状は、引張方向 90 度では他の形状よりも引張荷重は高くなるが、0 度では他の形状に比べて引張荷重のばらつきが大きく、その引張荷重も低い値を示した。また、破

断箇所は、どちらの引張方向においても、2枚の鋼板を溶接している部分ではがれる溶接部破断なることを確認した。この結果から、直線形状については、引張方向により引張荷重に差が出るのが特徴であることが分かった。次に、C形状、かっこ形状は、ともに引張方向0度と90度について引張荷重に差があまりないことを確認した。また、破断箇所は、どちらの引張方向でも溶接部近傍に割れが発生する母材 (HAZ) 破断することを確認した。この結果からC形状やかっこ形状では、直線形状の特徴とは異なり、引張方向0度、90度による差が小さく、引張方向による差が出にくいことが特徴であることがわかった。また、かっこ形状のかっこ間の距離の影響については、引張方向0度のL=30mmは同方向のL=20mmと同程度の引張荷重となっている。それに比べてL=40mmでは、少し引張荷重が低下することを確認した。また、引張方向90度ではL=30, 40mmの場合もL=20mmの引張荷重とほぼ同じであった。その時の破断形態は、L=30, 40mmのどちらの引張方向でも母材 (HAZ) 破断となり、良好な結果が得られた。

### 3.2 解析結果および考察

各溶接継手ビード形状の溶接部と母材の応力分布状態を図6に示す。図中において、白枠で囲ったところが応力値の高い箇所である。まず、直線形状の応力分布は、始点終点部のみに応力が集中し、その他の部分には応力集中が生じてないことがわかった。それに比べて、C形状やかっこ形状の応力分布は、直線形状とは異なり、始点終点部のみではなくR部分に応力集中が生じて、応力集中する箇所が分散することがわかった。これらのことから、各形状に応力分布の特徴に違いがあることがわかった。一般的にレーザー溶接では、始点終点部にアンダーフィルやクレータなどの溶接欠陥が発生しやすいことが知られている<sup>4)</sup>。このこととその特徴から、始点終点部のみに応力集中が生じる直線形状は、その部分に応力が集中した場合、溶接部が破壊しやすい形状と想定でき、C形状やかっこ形状は、応力集中が始点終点部とR部に分散するので、直線形状に比べて破壊しにくい形状と想定できる。また、母材の応力分布は、溶接部の応力分布とは若干違うものの、直線形状は始点終点部に、C形状とかっこ形状はR部の広範囲に分布していることを確認した。

### 3.3 引張せん断試験および解析のまとめ

各溶接継手ビード形状の引張せん断試験とFEM線形静解析を行った結果をまとめると、まず、直線形状は、引張方向によって引張荷重に差があり、その破断箇所は溶接部で破断すること、また、その応力については始点終点部のみに集中するという特徴があることが分かった。

次に、C形状やかっこ形状は、引張方向により引張荷重に差があまりなく、その破断位置は母材 (HAZ) 破断すること、またその応力については始点終点部のみだけでなくR部にも集中することで応力が分散する特徴があることを確認した。

これらのことから、高張力鋼板の適用可能なレーザー溶接ビード形状は、始点終点部のみに応力が集中し、かつ引張方向によって引張荷重に差が出る直線形状よりも応力集中が始点終点部のみだけでなくR部にも集中して、かつ引張方向による荷重の差があまりないC形状やかっこ形状の方が有効であることを確認した。また、かっこ形状のかっこ間距離の影響については、その距離が広くなると引張方向0度のL=40mmでは引張荷重の低下が少しあるがL=40mmまではその破断箇所が母材 (HAZ) 破断する良好な結果が得られた。

## 4 結 言

リモートレーザーや高張力鋼板に適用可能なレーザー溶接継手ビード形状の開発を行った。実験と解析の結果から、引張せん断試験における引張方向による破断時の引張荷重、破断形態や溶接部の応力集中の特徴から一般的な直線形状よりもC形状やかっこ形状が有効であることを確認した。

## 文 献

- 1) 森 : 溶接学会誌, 75-5 (2006), 371-372
- 2) 森他 : 溶接学会誌, 77-3 (2008), 11-15
- 3) 北村他 : 溶接学会全国大会講演概要 80, (2007), 90-91
- 4) 新井 : 高出力レーザープロセス技術, (2004), 208-213, マシニスト出版

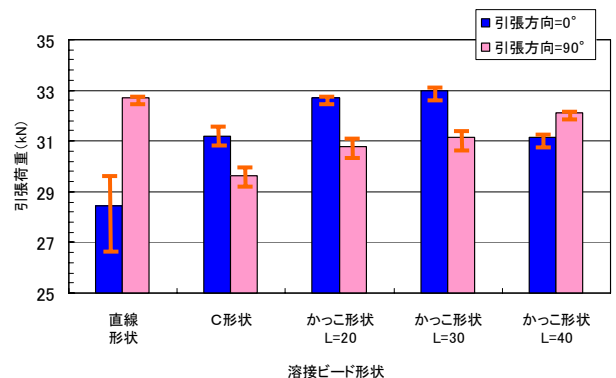


図4 各溶接継手ビード形状の引張せん断試験結果

	引張方向					
	0度			90度		
	破断直後の 外観写真	試験後の 外観写真	破断 箇所	破断直後の 外観写真	試験後の 外観写真	破断 箇所
直線 形状			溶接部			溶接部
C形状			母材 (HAZ)			母材 (HAZ)
かっこ 形状			母材 (HAZ)			母材 (HAZ)

図5 各溶接継手ビード形状の引張せん断試験による試験片の破断状態

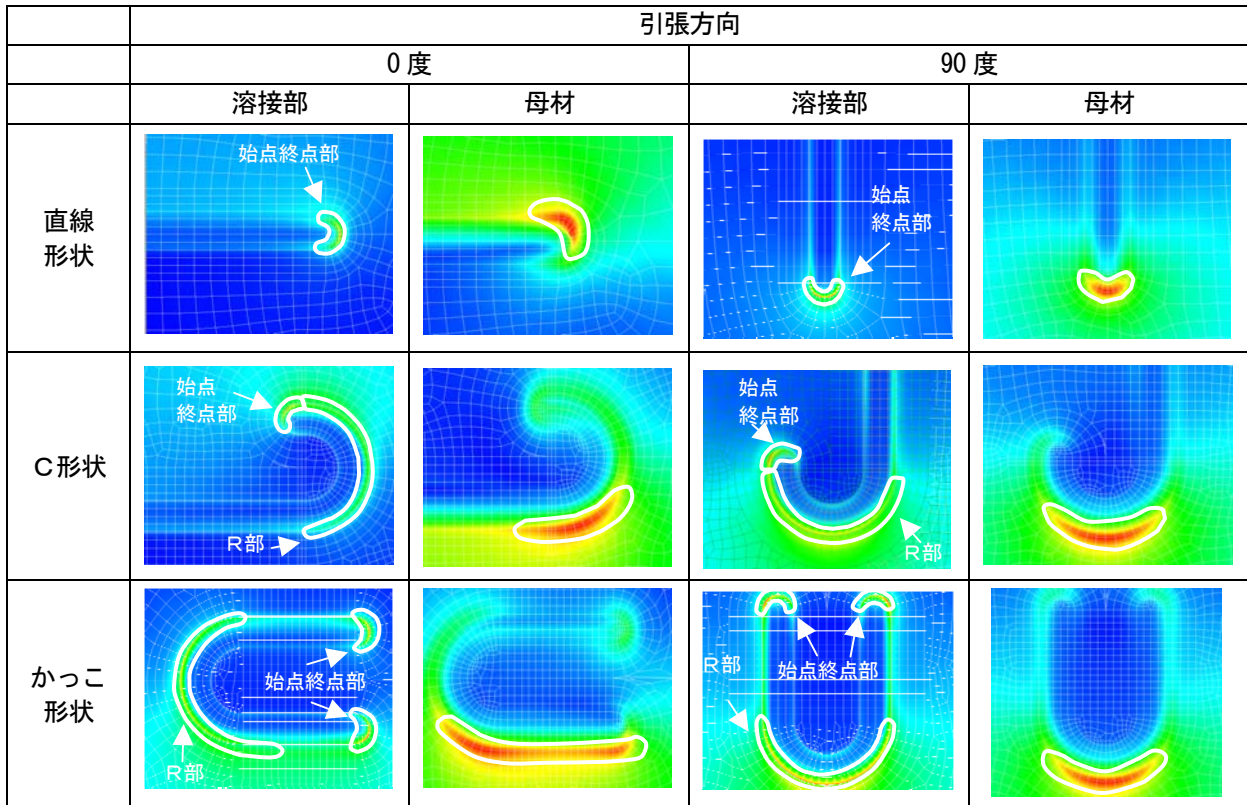


図6 各溶接継手ビード形状の溶接部および母材の応力分布状態