

自動車用鋼板のレーザー溶接重ね継手強度に及ぼす 鋼板強度とビード形状の影響*

○北村貴典**, 鮫島佳祐***, 寺崎俊夫**, 武村伸介****

Keywords : 重ね継手, レーザ溶接, 静的強度, ビード形状

1. 緒言

自動車車体製造などにおける軽量化, 高剛性化を目的として, レーザ溶接が重ね継手に適用されるようになってきた。また, 近年の自動車産業では地球温暖化問題への対策が求められている。特に燃費向上に伴う二酸化炭素排出量の削減が急務であり, 薄い鋼板でも高強度を得ることができる自動車用高張力鋼板を採用した軽量自動車車体が開発されてきている。レーザー溶接重ね継手の静的強度については種々の研究者が研究を行っている。小野¹⁾は重ね継手試験片で実験を行い, 溶接金属のピッカース硬さから溶接金属のせん断強度を予測し, 破断位置の分類に成功するとともに, 溶接継手強度の予測にも成功している。古迫²⁾は接合部面積を変化させた重ね継手試験片で実験を行い, 破断位置を詳細に分類し, 接合部面積の大きさが重ね継手の破断位置に大きな影響を与えることを実験で報告している。著者らも, 2本ビードのレーザー溶接重ね継手を用いて引張試験を行った結果, ビード間ピッチを3倍とることによって, 引張負荷時の重ね継手の回転変形による応力集中が改善し, 強度が向上することを明らかにした³⁾。そして, 相当塑性ひずみがある値に達したときに破断するという概念を用いて, 数値解析により形状因子が応力集中部の相当塑性ひずみに及ぼす影響の検討を行い, 1本ビードのレーザー溶接重ね継手においては接合部幅が板厚の2倍が適切であることと, 2本ビードのレーザー溶接重ね継手でのビード間ピッチの大きさを板厚の3倍にし, 接合部幅は板厚と同じ大きさにとることが適切であるということを明らかにした^{4,5)}。しかし, ビードを2本置くことは1本置く場合と比べ, 溶接時間が2倍かかるため生産性の面で見れば効率的ではない。そこで, 本研究では自動車用高張力鋼板を使用して溶接ビード形状が1本直線ビード, 2本直線ビード, 円弧ビードの3種類で溶接された重ね継手で, 十分な強度を有し, かつ車体製造における溶接時間の短縮に適した溶接ビード形状についての検討を行った。

2. 静的引張試験

重ね継手に引張負荷を与えた場合の破断位置をFig.1に示す。重ね継手を作成する場合, Fig.1(a)のように継手強度が不十分で溶接金属部でせん断破断（以下, WMとする）するのではなく, (b)のように十分な継手強度で母材部で破断（以下, BMとする）することが望ましい。重ね継手に引張負荷が作用した場合, 継手部が回転変形し, 継手部近傍に応力集中が生じるが, これを考慮しない場合, 母材の引張強さを σ_{BM}^B , 溶接金属のせん断強さを τ_{WM}^B , 接合部面積を A_{WM} , 板厚を h , 板幅を W とすると, 母材部破断するためには母材の破断荷重 $\sigma_{BM}^B \cdot h \cdot W$ が溶接金属のせん断破断荷

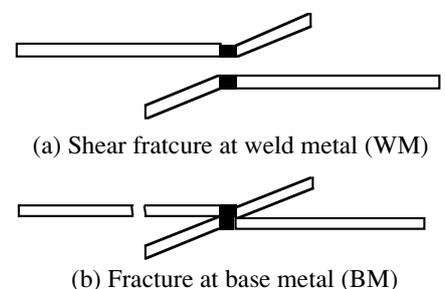


Fig.1 Type of fracture position

* 原稿受付 平成19年7月13日 平成19年度九州支部研究発表会で発表

** 正員 九州工業大学工学部 Member, Faculty of Engineering, Kyushu Institute of Technology

*** 非会員 九州工業大学工学部 Faculty of Engineering, Kyushu Institute of Technology

**** 非会員 日産自動車株式会社 NISSAN MOTOR CO., LTD.

重 $\tau_{WM}^B \cdot A_{WM}$ 以下であれば、母材部破断が期待できる。よって、(1)式の左辺が1以上で重ね継手が母材部破断する。

$$(\tau_{WM}^B \cdot A_{WM}) / (\sigma_{BM}^B \cdot h \cdot W) \geq 1 \text{-----(1)}$$

以下では式(1)を基本とし、継手強度を $(\tau_{WM}^B \cdot A_{WM}) / (\sigma_{BM}^B \cdot h \cdot W)$ で整理するものとした。

Fig.2に静的引張試験に用いた試験片形状を示す。自動車用高張力鋼板HT590板厚1.0mmと板厚1.6mm，HT980板厚1.6mmの3種類を用いた。溶接は重ね代20mmとして，YAGレーザ溶接機を用いた。溶接ビード形状として，Fig.2に示すビード1本を直線状に置いた重ね継手，ビード2本を平行に置いた重ね継手および円弧ビード形状溶接重ね継手を用いた。なお，2本ビードのビード間ピッチおよび円弧ビードの振幅は板厚の3倍³⁾とした。引張試験は島津精密万能試験機AG-20kNISを用い，引張速度0.5mm/minの変位制御で実験を行った。

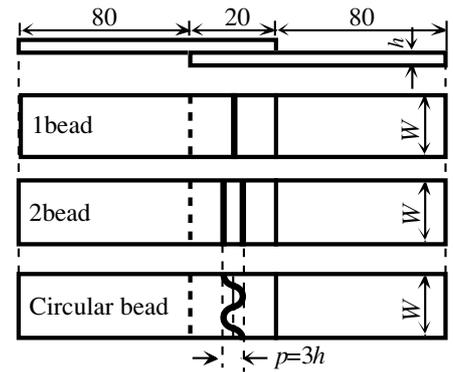


Fig.2 Lap joint specimens for tensile test

3. 硬さ分布と継手強度

HT590材では，母材部破断となる場合は継手から離れた位置で破断し，継手強度もHT590の母材引張強さ601MPaと同程度であったが，HT980材の重ね継手試験片で引張試験した結果，継手強度がHT980の母材引張強さ1001MPaに達することなくFig.3に示すようにHAZ部で破断した。そこで，HT980の重ね継手近傍の硬さ分布を測定した。2本ビードで溶接された重ね継手近傍の硬さ分布をFig.4に示す。HT590では，継手から離れた位置での硬さ分布はHT590の母材硬さ $H_V=188$ とほぼ同程度の値をとっていた。一方，Fig.4より，HT980では，母材部硬さ $H_V=313$ よりも下まわっており，軟化域が存在する。この軟化域は破断位置と一致し，破断位置での硬さ $H_V=254$ から換算した引張強さ829MPaと継手の破断強度がおおよそ一致した。すなわち，HT980を用いた場合の重ね継手強度はビード形状の違いよりもHAZ部の軟化の程度で決定されることが判明した。



Fig.3 Photo of fracture position (HT980, h=1.6mm)

HT980の重ね継手でビード近傍のHAZ部で軟化が起こったことの原因については，高張力鋼の主な強化方法の違いが原因であると考えられる。HT590とHT980はともにマルテンサイトとフェライトによる2相組織強化と呼ばれる強化方法をとっており，HT980に関してはマルテンサイトを多く使用した強化方法をとっている。レーザ溶接することによりHAZ近傍が400～500℃程度まで加熱され，焼戻しと同じようなことがおき，いわゆる焼戻しマルテンサイトとなるため，硬さが低下し，それに伴いHT980の母材強度が低下したと考えられる。

一方で，HT590は主に析出強化と固溶強化を用いて強化させたフェライト組織の多い鋼である。そのため，レーザ溶接により母材が熱せられても，マルテンサイトが少ないため，焼戻しマルテンサイトも少なくなる。このことが原

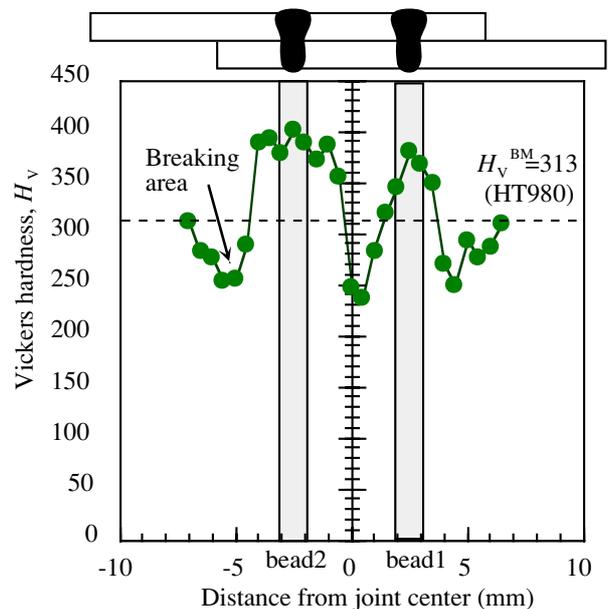


Fig.4 Vickers hardness distribution of HT980

因でHT590の重ね継手では軟化が起こらなかったと考えられる。以下では、HT590を用いて、ビード形状と継手強度について検討を行う。

4. 母材部破断が期待できる最小接合部面積

HT590, $h=1.0\text{mm}$ の重ね継手の引張試験結果を(1)式の左辺である $(\tau_{WM}^B \cdot A_{WM}) / (\sigma_{BM}^B \cdot h \cdot W)$ の値と継手強度で整理したものをFig.5に示す。横軸に $(\tau_{WM}^B \cdot A_{WM}) / (\sigma_{BM}^B \cdot h \cdot W)$ の値、縦軸に継手強度をとり、▲印に1本ビードで破断位置がWMとなるもの、□印に2本ビードで破断位置がBMとなるもの、■印に2本ビードで破断位置が溶接金属部でWMとなるもの、○印に円弧ビードでBMとなるものをそれぞれ示す。Fig.5より、1本ビードで溶接されたものは、2本ビードでBMを得られた重ね継手の最小接合部面積と同じ接合部面積では $(\tau_{WM}^B \cdot A_{WM}) / (\sigma_{BM}^B \cdot h \cdot W)$ の値が1よりも小さくなり破断位置がWMとなり、BMは得られなかった。これは、ビード1本で接合部面積を大きくするため、溶接速度を遅くする必要があるため、2本ビード作成時よりも溶接金属の硬さが低下するためである。このことから2本ビードでBMが得られる最小接合部面積と同程度の接合部面積の1本ビードではBMを得ることは難しいということがいえる。次に円弧ビードで溶接された重ね継手では $(\tau_{WM}^B \cdot A_{WM}) / (\sigma_{BM}^B \cdot h \cdot W)$ の値が1.17程度で十分にBMを得られる領域だと、破断位置はBMとなった。

HT590, $h=1.6\text{mm}$ の重ね継手における引張試験結果をFig.6に示す。□印に2本ビードで破断位置がBMとなるもの、■印に2本ビードで破断位置がWMとなるもの、○印に円弧ビードで破断位置がBMとなるもの、●印に円弧ビードで破断位置がWMとなるものをそれぞれ示す。Fig.6より、2本ビードで溶接された重ね継手では、 $(\tau_{WM}^B \cdot A_{WM}) / (\sigma_{BM}^B \cdot h \cdot W) \geq 1$ の領域で破断位置がBMとなり、 $(\tau_{WM}^B \cdot A_{WM}) / (\sigma_{BM}^B \cdot h \cdot W) < 1$ の領域では破断位置がWMとなり破断位置の分類ができることが確認できた。また、円弧ビードでは、WMとBMのほぼ境界である $(\tau_{WM}^B \cdot A_{WM}) / (\sigma_{BM}^B \cdot h \cdot W) = 1.03$ でWMとBMの両方が得られていることから、 $(\tau_{WM}^B \cdot A_{WM}) / (\sigma_{BM}^B \cdot h \cdot W)$ が1より大きいか小さいかで破断位置を分類できることが確認できた。

5. 母材部破断と溶接時間短縮を両立したビード形状

HT590を用いた重ね継手で溶接時間が短く母材部破断を得ることのできる溶接ビード形状について、幅1000mm当りの溶接時間を用いて検討を行った。

HT590, $h=1.0\text{mm}$ の重ね継手について、幅1000mm当りを溶接するのに必要な時間を横軸にとり、縦軸に継手強度をとって整理した図をFig.7に示す。□印は2本ビードで破断位置がBMとなるもの、▲印は1本ビードで破断位

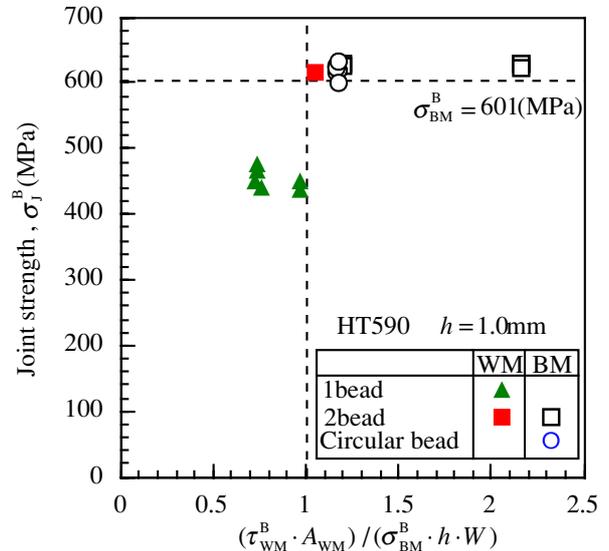


Fig.5 Relation between joint strength and fracture parameter(HT590, $h=1.0\text{mm}$)

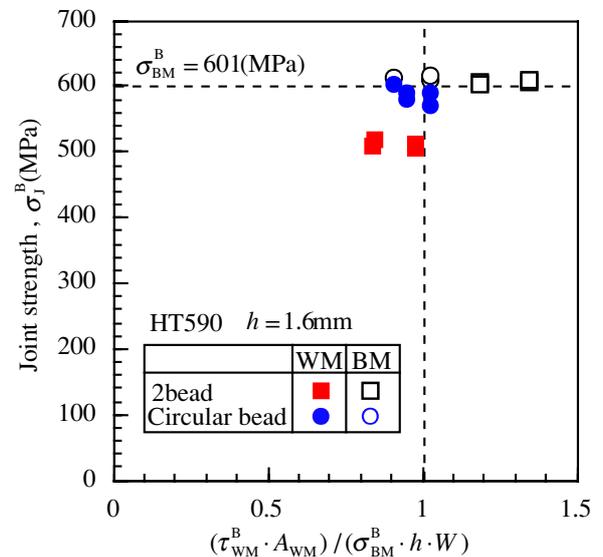


Fig.6 Relation between joint strength and fracture parameter (HT590, $h=1.6\text{mm}$)

置がWMとなるもの、○印は円弧ビードで破断位置がBMとなるものである。Fig.7を見ると、1本ビードは破断位置がすべてWMとなったため、あまり有効な溶接ビード形状とはいえない。しかし、2本ビードと円弧ビードについては比較的短い溶接時間でBMが得られた。

次に、HT590、 $h=1.6\text{mm}$ について同様に整理した図をFig.8に示す。■印は2本ビードで破断位置がWMとなるもの、□印は2本ビードで破断位置がBMとなるもの、●印は円弧ビードで破断位置がWMとなるもの、○印は円弧ビードで破断位置がBMとなるものである。Fig.8を見ると、幅1000mm当りの溶接時間が約50秒程で円弧ビードはBMを得られているのに対し、2本ビードではBMを得ることはできていない。以上より、円弧ビードは短い溶接時間で、母材部破断を得ることができる溶接ビード形状であると言える。

6. 結 言

- (1)HT980の重ね継手ではHAZ部で軟化が起こり、HAZ部の硬さは母材部硬さよりも下回った。よって、引張試験を行ったところ、HAZ部で破断し、継手強度はそれぞれの溶接ビード形状におけるHAZ部の最小引張強さ程度であった。これは鋼の強化方法に起因するものである。
- (2)ビード形状が2本ビードや円弧ビードでは狭いビード幅でも母材部破断が得られたが、1本ビードについては、2本ビードで母材部破断を得られた最小接合部面積と同じ接合部面積では母材部破断を得ることはできなかった。
- (3)円弧ビードは比較的短い溶接時間で母材部破断を得ることができる強度と生産性に優れた溶接ビード形状である。

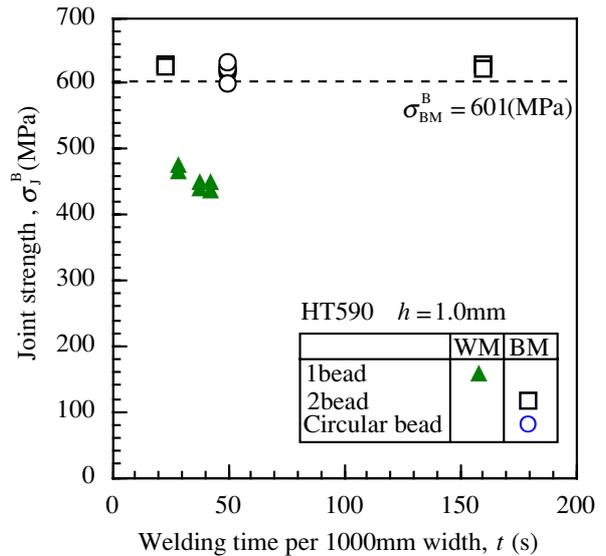


Fig.7 Relation between welding time and joint strength (HT590, $h=1.0\text{mm}$)

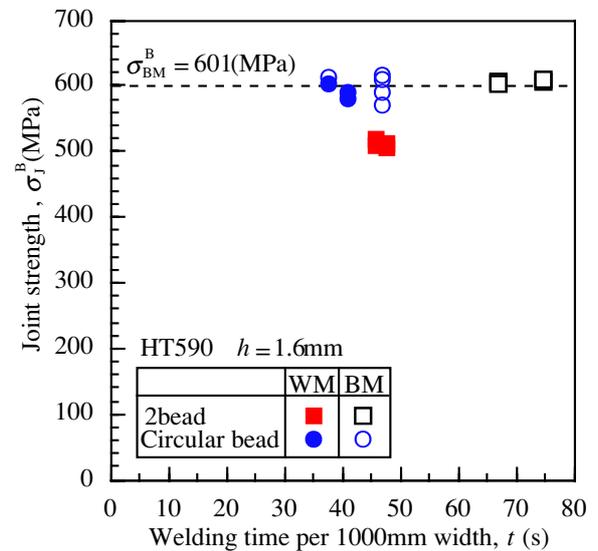


Fig.8 Relation between welding time and joint strength (HT590, $h=1.6\text{mm}$)

参考文献

- 1) 小野守章, 樺沢真事, 大村雅紀: 薄鋼板レーザ重ね溶接継手の強度特性, 溶接学会論文集, 14(1996), 586-591
- 2) 古迫誠司, 田中隆, 橋本浩二: レーザ溶接された重ね継手の引張強度および破断形態の予測モデル-その1, 溶接学会全国大会講演概要, 68, (2001), 170-171
- 3) 寺崎俊夫, 岡村雄作, 北村貴典, 北側彰一: レーザ重ね継手の静的強度を支配する因子について, シンポジウム「21世紀の自動車における接合技術」(JAA2002), (2002), 79-88
- 4) 寺崎俊夫, 北村貴典: 数値解析によるレーザ重ね継手の静的強度予測, 溶接学会論文集, 21, 3 (2003), 419-424
- 5) 寺崎俊夫, 北村貴典: 数値解析によるレーザ重ね継手の静的強度に及ぼす継手形状因子の検討, 溶接学会全国大会講演概要, 73, (2003), 250-251