

## シャシー部品用高強度鋼板のアーケ溶接技術

## Arc Welding Technologies for High Strength Steel Sheets for Automotive Chassis Members

児玉 真二\*  
Shinji KODAMA

富士本 博紀  
Hiroki FUJIMOTO

石田 欽也  
Yoshinari ISHIDA

松田 和貴  
Kazuki MATSUDA

松葉 正寛  
Masahiro MATSUBA

## 抄 録

自動車シャシー部品の疲労強度ならびに耐食性向上を目的としたアーケ溶接技術に関する最近の研究成果を述べた。まず、溶接部の疲労強度に及ぼす溶接金属硬さと溶接部形状の影響を検討し、溶接ワイヤの選定や溶接条件適正化の重要性を確認した。さらに、溶接ビード形状におけるシールドガス組成の影響や応力集中低減のための補剛ビードの配置について概説した。次に、溶接部の耐食性向上を目的に溶接部の電着塗装性を評価した。塗装性はスラグの剥離性とスラグそのものの塗装性に依存し、塗装不良は溶接ワイヤや鋼板によって変化することを示した。最後に、溶接部疲労強度と耐食性の両立を目的に、ショットブラストの適用を提案した。

## Abstract

Recent research progresses on fatigue strength and corrosion resistance of arc welded joint using high tensile strength steel sheets are described, focusing on automotive chassis members. At first, the impacts of weld metal hardness and weld bead shape on fatigue strength are studied, and the importance of the selection of welding wires and the optimization of welding conditions are indicated. Additionally, the effects of the shielding gas components on weld bead shapes or the arrangements of the stiffening beads to reduce stress concentrations are described. Secondly, the properties of electrodeposition coating on the weld part are evaluated in order to improve corrosion resistance. It is confirmed that the coating properties depend on the characteristics of peeling or coating on the weld slags, and the coating defects are varied according to the type of welding wire and steel plate. Finally, the shot blast treatment is proposed as a countermeasure for supporting corrosion resistance and fatigue strength.

## 1. 緒 言

省エネルギー、環境保護の観点から、自動車車体の軽量化が必須の課題となっており、高強度材の適用による板厚低減のニーズが高まっている。自動車のシャシー部品には比較的板厚の厚い鋼板が用いられ、接合工法としてアーケ溶接が適用されることが多い。その理由として、連続溶接であるために部品の強度、剛性を確保しやすいこと、閉断面構造の製作に適した片側アクセスの接合が可能なこと、鋼板間の隙間等に対する施工裕度が高いことなどが挙げられる。しかし、アーケ溶接部は構造上必然的に応力が集中しやすい箇所となるため、走行時の繰り返し負荷を受けるシャシー部品においては溶接部が疲労き裂の起点にな

りやすい。また、塩害地での走行に対しては、塗装不良を伴う溶接部が腐食の起点となり長期の使用において部品の板厚減少につながる可能性がある。

これらの制約から、現状のシャシー部品に用いられる鋼板は 440 MPa 級鋼板や 590 MPa 級鋼板が主流であり、一部に 780 MPa 級鋼板の適用が拡がりつつある状況である。ボディの骨格部品で 1.2 GPa 冷間圧延鋼板や 1.5 GPa ホットスタンプ鋼板が適用されている状況<sup>1)</sup>に比べると、適用鋼板の強度に対する遅れが否めない。重要保安部品であるシャシー部品の超高強度化を推進するためには、従来にも増して信頼性の高い溶接部を提供する必要がある。それを製造する溶接工程においては品質のばらつきを極力低減する手法を構築することが重要と考えられる。これらの背景

\* 鉄鋼研究所 接合研究部 主幹研究員 工博 千葉県富津市新富 20-1 〒293-8511

を踏まえ、本報では自動車シャシー部品アーキ溶接部の疲労強度向上ならびに耐食性向上を目的に取り組んでいる最近の研究例を紹介する。

## 2. 溶接部の疲労強度

溶接部の疲労強度を向上させる手法は、従来から橋梁や造船等の分野で開発されており、厚板構造物においては圧縮残留応力を得るための超音波衝撃処理技術 (UIT: Ultra Sonic Impact Treatment)<sup>3)</sup> や低変態温度溶接材料<sup>4)</sup> が実用化されてきた。一方、薄鋼板の分野でも高強度鋼板適用に対するニーズの高まりから活発な検討がなされており、溶接止端部形状に及ぼす鋼板成分の影響<sup>5)</sup>、高強度溶接ワイヤの効果<sup>6)</sup>、シールドガス組成の変更によるビード形状の改善<sup>7)</sup> 等が報告されている。また、プラズマ・アーキハイブリッド溶接技術<sup>8)</sup> や“MX-MIG”プロセス<sup>9)</sup> 等も扁平な形状の溶接ビードを得るための接合プロセスとして提案されている。

一方で、溶接部の疲労強度は値にばらつきが生じやすく、各種の対策技術で期待される効果が必ずしも得られるとは限らない。そこで、薄板アーキ溶接継手の疲労強度に対する理解を目的に、溶接部疲労強度に及ぼす溶接金属強度と止端部形状の関係を考察した。また、ビード形状のばらつきを低減するためのシールドガス組成の適正化、さらに構造的な応力集中の低減を目的とした補剛ビードの効果について述べる。

### 2.1 薄板重ね隅肉継手の疲労強度支配因子

溶接部の疲労強度向上のため、止端部形状の改善による応力集中係数の低減や高強度ワイヤの適用による溶接金属高強度化等の対策が施されているが、薄板継手において、これらの対策の効果を定量的に比較した例は少ない<sup>10)</sup>。そこで、重ね隅肉継手における疲労強度支配因子の簡便な理解を目的に、応力集中係数とき裂発生部硬さの影響について検討した。

供試鋼板には熱間圧延 980MPa 鋼を用い、異なる強度の溶接ワイヤおよび異なる溶接条件で重ね隅肉溶接試験片を作製し、疲労強度を評価した。図 1 に代表的な溶接部の断面マクロ写真を示す。参考として断面マクロ写真から求めた止端部の曲率半径を示している。条件 A および B は、共に板厚 2.9mm の鋼板を溶接したものであるが、溶接ワ

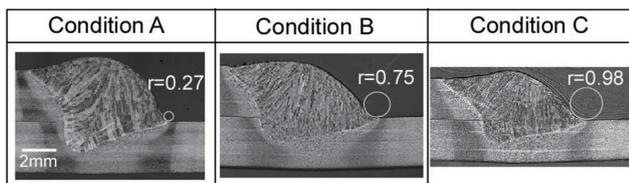


図 1 異なる溶接条件で作製した溶接部の断面写真  
Cross sections of welded parts in the several welding conditions

イヤ狙い位置と溶接電圧を変化させることで異なるビード形状の溶接継手を作製した。条件 C は、板厚 2.3mm の鋼板を標準的な溶接条件で作製した継手であるが、より扁平な溶接ビードが得られることがわかる。

溶接ワイヤには 490MPa 級の軟鋼ワイヤ、780MPa 級および 980MPa 級の高強度ワイヤ、さらに C 添加量を高めた試作の高強度ワイヤを使用した。なお、試作の高 C ワイヤを適用した継手では溶接金属のルート部に低温割れが生じる場合があった。このため、このワイヤを実際の継手にそのまま適用することはできないが、ここでは止端部の疲労強度支配因子の理解を目的に本ワイヤを用いた継手の評価を行った。

図 2 に溶接部の硬さ分布の例を示す。ワイヤの高強度化に伴い溶接金属の硬さが増加することがわかる。また、軟鋼ワイヤ、780MPa 級ワイヤでは溶融境界に隣接する熱影響部 (HAZ) の硬さが溶接金属よりも硬いが、試作高 C ワイヤでは HAZ よりも溶接金属の硬さの方が高くなることを確認できる。

図 3 に各々の溶接継手の疲労試験結果を示す。疲労試験方法は両振りの曲げ疲労試験で、200 万回の繰り返し負荷でトルク低下が 40% 未破断となる応力振幅を疲労限とみなした。また、疲労試験時のルート部の開口を防止するため、評価ビードの裏面側に拘束のための溶接を施している<sup>6)</sup>。

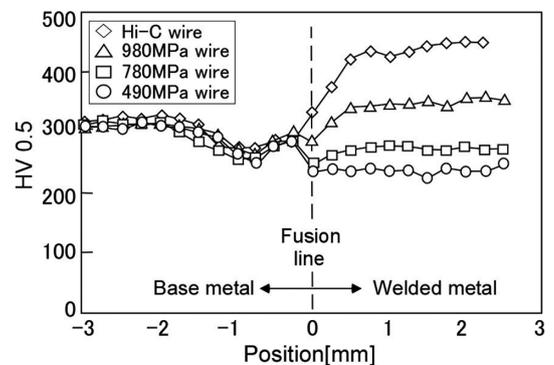


図 2 各種ワイヤを用いた溶接部の硬さ分布  
Vickers hardness distributions of welded parts using various welding wires

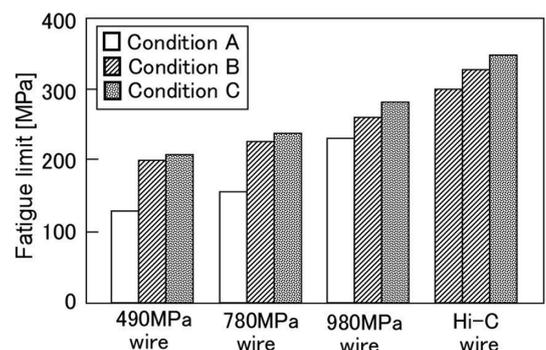


図 3 重ね隅肉溶接継手の疲労強度  
Fatigue strengths of fillet lap weld joints

溶接ワイヤの高強度化で疲労強度が増加する傾向を示す一方で、同じ溶接ワイヤでも溶接条件によって疲労強度が異なることがわかる。例えば、軟鋼用ワイヤにおける条件Aの疲労限が130MPaであるのに対し、条件Cでは210MPaとなり1.6倍の差を示した。

厚鋼板の溶接継手において、修正 Goodman 線図による疲労強度の推定が試みられている。修正 Goodman 線図では、き裂部の引張強さと応力集中係数から簡便に疲労強度が推定できるとされており、その手法を薄板継手に適用した。(1)式に溶接部疲労強度の推定式を示す。

$$\sigma_{fw} = \alpha TSw / Kt \quad (1)$$

ここで、 $\sigma_{fw}$  は応力比  $R=-1$  での疲労限、 $\alpha$  は疲労限度比を示す。TSw はき裂発生部の引張強さ、Kt は応力集中係数で、これらの比が溶接部疲労強度に比例すると仮定した。なお、本報に用いた疲労試験片の残留応力は  $\pm 50$ MPa 程度と小さかったため、ここでは残留応力を考慮していない。

経験的にビッカース硬さの約3倍が鋼材の引張強さ(MPa)になることが知られているため、TSw は止端部近傍の溶接金属硬さの3倍と見なした。また、Kt は杵淵の解析結果<sup>11)</sup>を基にした近似式(2)で求めた。

$$Kt = 6.24x^6 - 30.8x^5 + 60.8x^4 - 60.8x^3 + 32.6x^2 - 9.33x + 2.37 \quad (2)$$

ここで、x は止端部の曲率半径 r と鋼板厚 t の比 (r/t) である。

図4は、各種継手の疲労強度を HV/Kt (HV:ビッカース硬度) で整理したものである。HV/Kt の増加にほぼ比例して疲労限も増加しており、溶接金属硬さと止端部の曲率半径(応力集中係数)から、簡便に重ね隅肉溶接部の曲げ疲労強度が推定できることがわかる。

ここでは溶接止端部形状として整理されるマクロ的な形状から応力集中係数を求めることによって疲労強度を整理した。しかしながら、溶接金属表面にはリップルと呼ばれる波目模様の凹凸が存在しており、疲労き裂がこの凹凸に沿って発生しやすいことを確認している<sup>12)</sup>。溶接部の疲労現象を深く理解するためには、より微視的な視点での解析

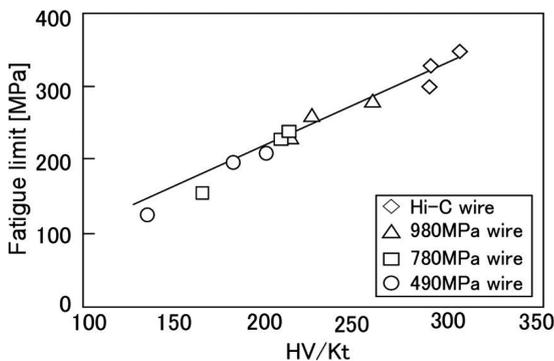


図4 溶接部の疲労強度に及ぼす溶接金属硬さと応力集中係数の影響  
Impact of the weld metal hardness and the stress concentration factor on fatigue strength of welded part

が重要と考えられる。

## 2.2 シールドガス組成による溶接部形状の改善

シールドガス組成を 100%CO<sub>2</sub> から Ar+5%CO<sub>2</sub> のような Ar リッチの成分とすることで平滑な溶接ビードが得られ、溶接部疲労強度が向上することが報告されている<sup>7)</sup>。一方で、溶接ビード形状はシールドガス組成のみならず、ワイヤ狙い位置や溶接電圧によっても変化する。そこで、溶接止端部形状に及ぼすシールドガスの効果の明確化を目的に、各種の溶接条件で止端部の形状を測定した。

シールドガス組成を Ar+20%CO<sub>2</sub> および Ar+5%CO<sub>2</sub> に変化させると共に、溶接電圧 (V) を標準に対して  $\pm 2$ V、溶接ワイヤ狙い位置 (x) を標準に対して  $\pm 1$ mm に平行移動させて重ね隅肉継手を作製した。なお、ワイヤ狙い位置に関しては、重ね隅肉継手の角から 0.5mm 離れた位置を基準に上板側 (+側) に 1mm、下板側 (-側) に 1mm 移動した条件とした。

図5に溶接部の断面マクロ写真の例を示す。シールドガスの CO<sub>2</sub> 濃度の減少と共に、溶接電圧の増加ならびにワイヤ狙い位置の調整で扁平な溶接ビードが得られることがわかる。シールドガスの CO<sub>2</sub> 濃度減少および溶接電圧の高電圧化は共にアーカ発生領域を拡大させ、母材をより広範囲に加熱することでビード形状が扁平になったと考えられる。また、ワイヤ狙い位置を下板側に移動させることで、下板側への入熱が増加したため、溶接金属が濡れ広がったと考えられる。

図6に各種の溶接条件と応力集中係数の関係を示す。なお、応力集中係数は溶接部断面から求めた止端部の曲率半径をもとに、(2)式で換算することで算出した。溶接部断面の観察結果からわかるように、狙い位置を下板側にすること、溶接電圧を高くすることで応力集中係数が低下する。また、シールドガスの CO<sub>2</sub> 混合率の低減によって応力集中

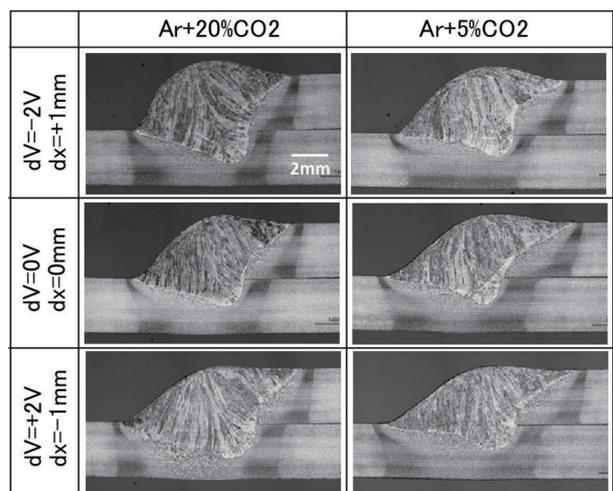


図5 溶接部の断面マクロ写真  
Cross sections of welded parts on the different shielding gas conditions

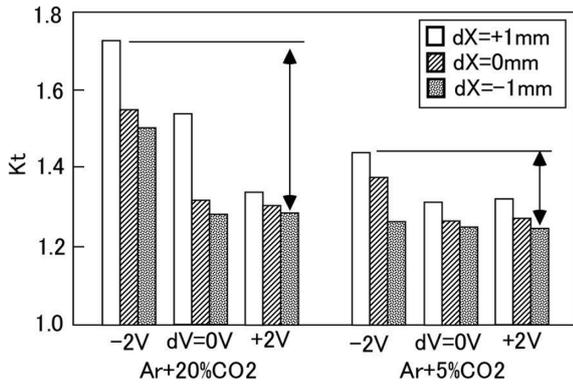


図6 溶接条件と止端部の応力集中係数の関係  
Relations between welding conditions and stress concentration factors of weld toe

係数の上限値が低くなり、応力集中係数の変化する幅が狭くなることからわかる。Ar+20%CO<sub>2</sub>における応力集中係数の上限値が1.73であるのに対し、Ar+5%CO<sub>2</sub>では1.44に下がっており、約2割の疲労強度向上効果が期待できる。これらの結果から、シールドガスのCO<sub>2</sub>濃度低減は、特に、上板狙いや低電圧といった凸ビードになりやすい溶接条件での応力集中低減に有効と考えられる。

### 2.3 補剛ビードによる溶接部疲労寿命の向上

前節では、溶接部疲労強度に関する基礎検討として、溶接止端部からき裂が発生する場合の疲労強度について述べた。一般的に、自動車シャシー部品では溶接ルート部からの疲労き裂を回避するように設計されており、また、従来の溶接部疲労強度に関する検討も止端部からのき裂を想定した対策がほとんどである。しかしながら、実際のシャシー部品の形状は複雑であるため、構造的な要因でルート部に加わる荷重が高まる可能性がある。さらに、ますます厳しくなる鋼板の高強度化、薄肉化要求に応えるためには、ルート部を含めた溶接部疲労強度向上の手段も必要と考えられる<sup>13)</sup>。

図7は、重ね隅肉継手に軸力方向の荷重を荷重した場合の応力分布および変形状態を示す。なお、板厚方向の変位を拡大して表示し、変形状態を見やすくしている。荷重に伴い溶接部に回転変形が生じることがわかる。また、鋼板間に隙間を設けた場合は、回転変形がより大きくなり、特にルート部の応力集中係数の増加が顕著となる。

このように、薄板構造物では荷重に伴う回転変形が溶接部の疲労強度に影響を及ぼすことから、その対策として補剛ビードによる溶接部の剛性向上手法を提案している<sup>14)</sup>。補剛ビードとは、部品を接合するための通常の溶接ビードとは別に、構造物の変形を抑制するための溶接ビードを配置するものである。

その一例として、ベース鋼板の上に配置したブラケット溶接部品での疲労寿命を検討した。図8に示すように、試験体はハット状のベース鋼板の上にコの字上のブラケット

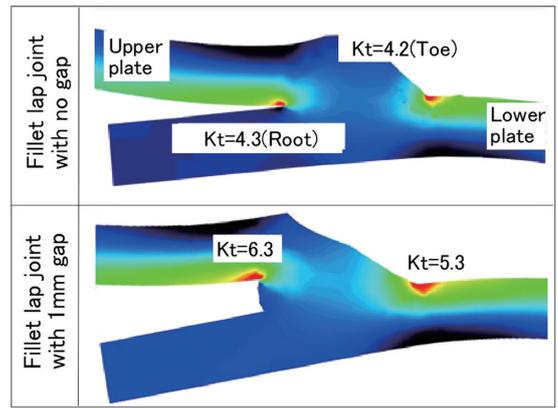


図7 重ね隅肉継手の荷重方向の応力分布  
Stress distributions along loading direction in fillet lap joint

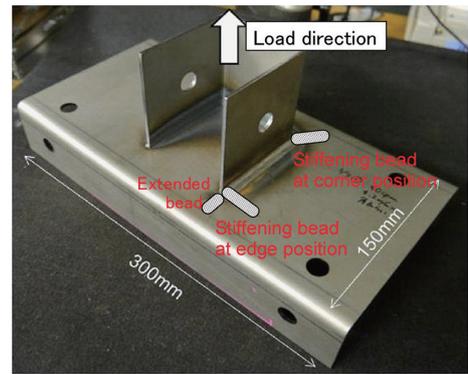


図8 補剛ビードを配置した溶接部品  
Weld member arranged stiffening beads

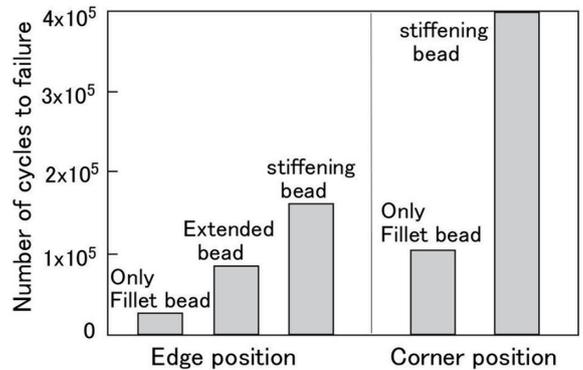


図9 破断寿命に対する補剛ビードの効果  
Impact of stiffening beads for fracture cycles

を配置し、それを囲うようにT字隅肉溶接を施したものである。疲労き裂の発生箇所はブラケットの端部およびコーナー部であったため、各々の溶接部に補剛ビードを配置した。ブラケット端部の溶接ビードを延長したもの、延長ビードに加え隅肉ビードと垂直方向の補剛ビードを配置したもの、またブラケットコーナー部に対しては隅肉ビードの法線方向に補剛ビードを配置した溶接試験体で疲労寿命を評価した。

疲労試験はブラケットの上方に繰り返し荷重を付与することによって行い、溶接部周辺に張付けたひずみゲージの値でき裂の発生タイミングを確認した。図9に補剛ビード

による疲労寿命の延長効果を示す。補剛ビードの無い場合のき裂発生寿命はブラケット端部およびコーナ部において各々  $0.3 \times 10^5$  回、 $1 \times 10^5$  回であった。これに対し、ブラケット端部の溶接ビードを延長することで、疲労寿命は  $0.8 \times 10^5$  回になり、さらに補剛ビードを追加することで  $1.6 \times 10^5$  回と、約 5 倍の寿命延長効果が得られた。また、コーナ部に対しては補剛ビードを施すことで  $4 \times 10^5$  回の繰り返し負荷においてもき裂が確認されず、4 倍以上の寿命延長効果を確認することができた。

このように、補剛ビードを適正に配置することで、溶接部に加わる局所的な応力集中係数が低下し、疲労寿命の延長が可能になると考えられる。本技術は、通常の溶接構造部品で疲労き裂の発生が懸念される箇所に数十 mm の溶接ビードを追加するもので、生産上の負荷を最小限に抑えた疲労強度向上技術といえる。しかしながら、実部品においては補剛ビード配置位置の制約や補剛ビードの追加に伴う応力状態の変化などが想定され、試行錯誤の試作評価に陥ることが懸念される。このため設計段階で本技術を織り込めるように、技術の体系化を進めていきたい。

### 3. 溶接部の耐食性

シャシー部品では溶接部の疲労強度と共に耐食性の向上が求められる。溶接時に生成するスラグが電着塗装不良の原因となり、耐食性を低下させるためである。また、部品に使用される鋼板の板厚は疲労強度や剛性といった設計時の力学的な制約だけでなく、使用環境での腐食に伴う板厚減少を考慮した設計がなされている。このため、腐食減肉による部品性能の低下が相対的に大きくなる薄手鋼板に対しては、溶接部耐食性の向上が必須の課題となる。

図 10 に、熱間圧延 440MPa 級鋼板に汎用の軟鋼ワイヤを適用した場合の溶接後、化成処理後、電着塗装後の溶接部外観を示す。溶接ビード表面のスラグが塗装不良の原因になることが確認できる。溶接部のスラグは、熔融池中の Si や Mn 等の脱酸素元素がシールドガスに含まれる酸素と結合することで生成される。そのため、スラグ低減には、溶接金属の脱酸素元素の低減やシールドガス中の酸化性ガスの

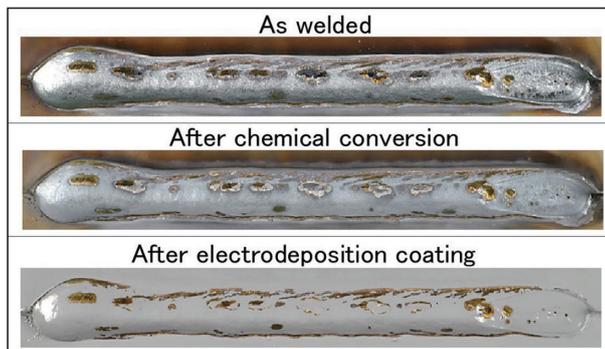


図 10 溶接後、化成処理後、電着塗装後の溶接部外観  
Weld bead appearances of as weld, after chemical conversion and after electrodeposition coating

低減が有効とされている<sup>15,16)</sup>。

一方で、図 10 のスラグおよび塗装不良の状態を詳細に観察すると、溶接時に生じたスラグの一部が電着塗装前に剥離すること、また、全てのスラグが塗装不良を招く訳ではなく、一部のスラグには塗装が施されることがわかる<sup>17)</sup>。

そこで、塗装不良に及ぼすスラグの影響を把握するため、440MPa 級鋼板を対象に Si, Mn 量の異なる 3 種の溶接ワイヤを用いて溶接試験片を作製し、スラグの生成量と塗装不良の関係について整理した。図 11 に溶接後および化成処理後のスラグ付着面積率、電着塗装後の塗装不良面積率を示す。必ずしも Si, Mn 量の高いワイヤで塗装不良率が増加する訳ではなく、高 Si, Mn 量のワイヤではスラグの剥離量の増加による塗装性の改善傾向が見られた。一方、低 Si, Mn 量のワイヤではスラグ剥離はほとんどなく、スラグが存在するにも関わらず塗装可能となる領域が広がる傾向が確認できる。低 Si, Mn のワイヤにおいて生じるスラグは Mn 主体のスラグであり、スラグ組成の変化が溶接部の塗装性改善に寄与した<sup>18)</sup>と考えられる。

スラグ組成の改質によって塗装不良が低減することを踏まえ、鋼板成分による塗装性改善の可能性を検討した。図 12 に塗装後の溶接部外観を示す。異なる成分の 780MPa

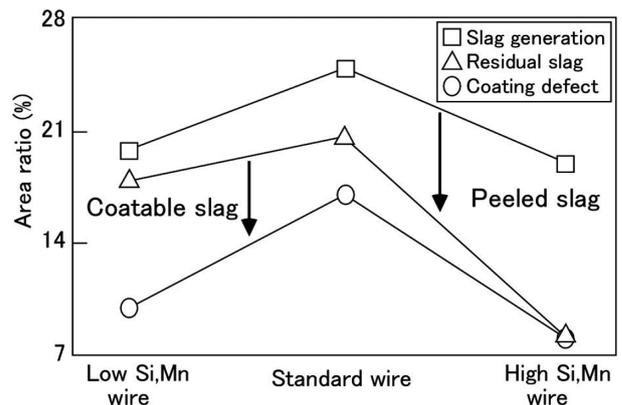


図 11 溶接スラグの剥離性と塗装性  
Changes peeled slag and coatable slag by welding wire compositions

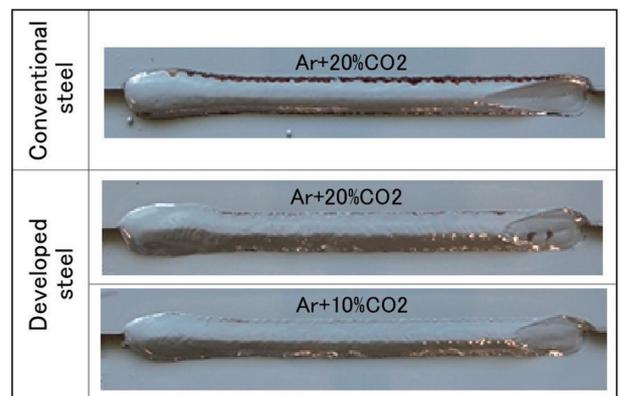


図 12 鋼板の適正化による塗装不良の低減  
Reduction of coating defects by the optimization of steel plate

級鋼板を市販の軟鋼ワイヤで溶接した結果を示している。従来鋼板に対して開発鋼板では、塗装性が大幅に改善することがわかる。さらに溶接時のシールドガスを Ar+20% CO<sub>2</sub> から Ar+10%CO<sub>2</sub> に変更することで塗装不良の無い良好な継手が得られることが確認できる。

#### 4. ショットブラストによる耐食性と疲労強度の向上

自動車のプレス成形部品の製造では、非めっきホットスタンプ鋼板の熱間プレス工程において生成した鉄スケールを除去するためにショットブラストが用いられている<sup>19)</sup>。このため、アーキ溶接された薄鋼板の自動車部品でも部品精度に大きな影響を及ぼさずに、ショットブラストを適用できる可能性があると思われる。一方で、橋梁等の厚板構造物では、溶接部の疲労強度向上の手段としてショットブラストが適用されている<sup>19)</sup>が、自動車用薄鋼板の溶接部での検討例はほとんどない。そこで、自動車用薄鋼板を対象に、ショットブラストによるアーキ溶接部の塗装後耐食性と疲労特性の改善について検討した結果<sup>20)</sup>を紹介する。

供試鋼板は板厚 2mm の 440MPa 級鋼板および 1500MPa 級ホットスタンプ鋼板とし、汎用の軟鋼ワイヤを用いて溶接試験片を作製した。シールドガスは Ar+20%CO<sub>2</sub> とした。

図 13 に 440MPa 級鋼板の溶接後のビード外観、塗装後外観および耐食試験後の外観を示す。電着塗装の目標膜厚は 20 $\mu$ m で、耐食試験は 1 サイクル 24 時間の複合サイクル腐食試験とし、120 サイクルでの腐食状態を調査した。溶接のままのビードではビード中央および溶接止端部にスラグの付着が認められ、また、HAZ にはヒュームの付着も認められた。一方、溶接後にショットブラストを行った試験片では溶接ビードのスラグならびに HAZ のヒュームが十分に除去されていた。溶接部の塗装性に関しては、スラ

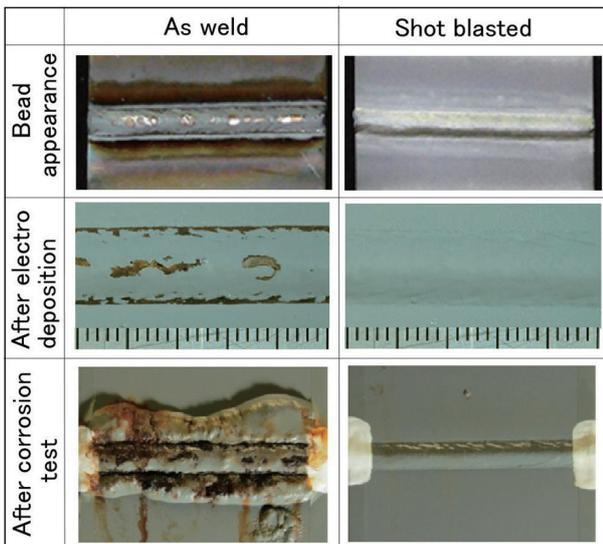


図 13 ショットブラストによる溶接部の耐食性向上  
Improvement of corrosion resistance of weld part by shot blast treatment

グの付着に伴う塗装不良のみならず、HAZ のヒュームによる塗膜の密着性低下が懸念されるが、ショットブラストの適用で両者を同時に改善できると期待される。

電着塗装後の溶接ビードを見ると、アーキ溶接のままの試験片では、スラグ付着部に塗装不良が認められたが、ショットブラストを行った試験片には、塗装不良が認められなかった。また、腐食試験結果においても、アーキ溶接のままの試験片には、塗装不良部の赤錆や溶接ビード周辺に塗膜膨れが生じ、著しい耐食性の低下が認められるが、ショットブラストを行った試験片は、溶接ビード周辺に腐食がほとんど生じなかった。

図 14 に、440MPa 級鋼板と 1500MPa 級鋼板の溶接部における最大腐食深さを示す。アーキ溶接のままの最大腐食深さは約 1.1mm 程度であったが、ショットブラストを行った試験片の最大腐食深さは 0.2mm 以下であった。ショットブラストにより溶接ビードのスラグが除去されることで塗装欠陥がほぼなくなると共に、ヒュームの除去による塗膜の密着性改善も耐食性の向上に有効に作用したと思われる。

図 15 に重ね隅肉溶接継手の平面曲げ疲労試験結果を示す。なお、ここで疲労試験は片振りの曲げ負荷であり、疲労強度は応力範囲で表示しているため、2 章で述べた疲労試験結果を直接比較することはできない。

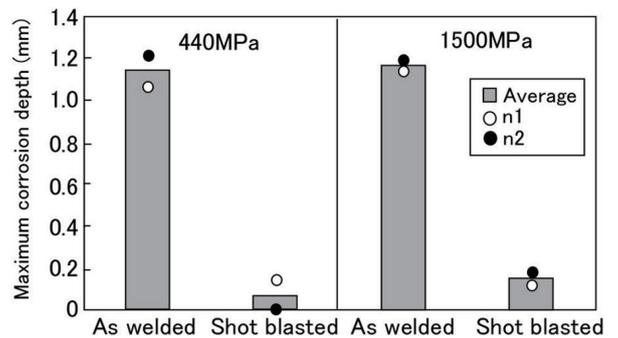


図 14 耐食試験後の最大浸食深さ  
Maximum corrosion depth after corrosion test

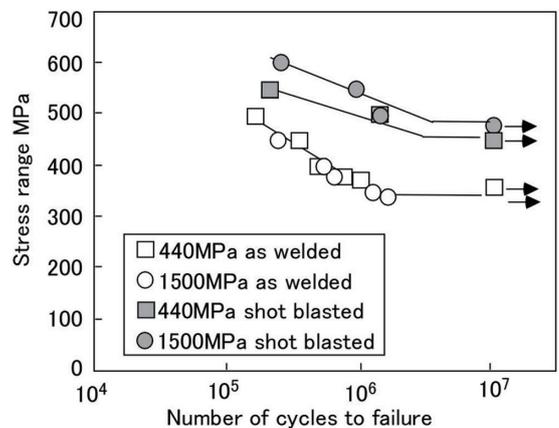


図 15 ショットブラストによる溶接部の疲労強度向上  
Improvement of fatigue strength of weld part by shot blast treatment

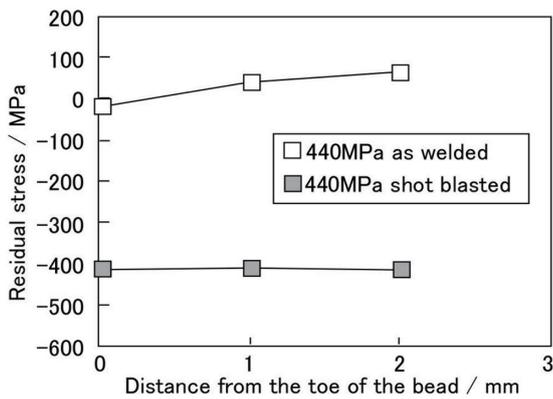


図 16 溶接部の材遺留応力分布  
Residual stress distributions of weld part

440MPa 級鋼板, 1500MPa 級鋼板とも, アーク溶接のままの疲労限は 360MPa であった。両者とも軟鋼ワイヤで溶接試験片を作製したため, 同等の溶接部疲労強度になったと考えられる。一方, アーク溶接後にショットブラストを行った 440MPa 級鋼板の継手の疲労限は 450MPa であり, ショットブラストにより疲労限が約 25% 向上した。さらに, 1500MPa 級鋼板での疲労強度は 440MPa 級鋼板よりも若干高い疲労強度を示した。

これらはショットブラストにより溶接部表面に付与された圧縮残留応力の影響によるものと考えられる。図 16 に 440MPa 級鋼板における溶接止端部近傍の残留応力分布を示す。溶接後の試験片では, 止端部の残留応力がほぼ 0 であったが, ショットブラストを行った試験片では止端部からの距離に関わらず 400MPa 程度の圧縮残留応力が認められた。一般に圧縮残留応力が存在すると疲労試験時の引張応力を下げる作用があり, 疲労強度が向上する。このため, 本検討でショットブラストにより疲労強度が向上した要因は, 止端部の形状変化や硬化よりも圧縮残留応力の付与が有効に作用したと考えられる。なお, ショットブラスト後の疲労強度が 440MPa 級鋼板よりも 1500MPa 級鋼板が高くなった理由としては, 1500MPa 級鋼板では疲労き裂発生位置近傍の HAZ が硬いため, ショットブラストにより付与された圧縮残留応力が疲労試験中に抜けにくいと推察された。

以上の結果より, ショットブラストによりアーク溶接部の塗装後耐食性と疲労強度が大幅に向上することが明らかとなった。ショットブラストの適用は工程が 1 つ増えるものの, 特に高強度鋼板に適用することで, シャシー部品の静的強度, 溶接部の塗装後耐食性, 疲労強度が向上する。実際の部品へのショットブラスト適用では, 投射材の材質, 部品形状に応じたショット処理条件, 投射材の除去方法な

ど, 適用する部品に応じた検証が必要になると思われるが, ショットブラストの適用は部品の軽量化, 商品性向上に寄与する可能性があると考えられる。

## 5. 結 言

自動車シャシー部品の軽量化を目的に, アーク溶接継手の疲労強度向上, 耐食性向上に関する課題および最近の研究成果を概説した。ますます要求の高まる高強度化, 薄手化のニーズに応じていくためには, 従来にも増して信頼性の高い溶接継手を提供する必要があり, 材料技術のみならず生産工程や部品形状に踏み込んだ信頼性向上技術が必要となる。シャシー部品の製造では, 継手形状に対する自由度の高さやプレス部品の組み付け誤差に対するロバスト性の観点でアーク溶接が多用されており, 当面その傾向は続くと思われ, 低入熱のレーザ溶接もしくはレーザ・アークハイブリッド溶接等の適用が可能となれば, 疲労強度や耐食性により優れた部品の製造が可能になると考えられる。今後とも, アーク溶接のメリットを活かした信頼性の高い継手を実現すると共に, 新たな接合プロセス開発を通じた新工法の提案によって自動車の軽量化に貢献したい。

## 参照文献

- 1) 近藤正恒: 溶接学会誌. 79 (8), 750 (2010)
- 2) 川田 ほか: 自動車技術会学術講演会. 2014-5314
- 3) 野瀬哲郎: 溶接学会誌. 77 (3), 210 (2008)
- 4) 糟谷正 ほか: 溶接学会論文集. 27 (2), 158 (2009)
- 5) 石田欽也 ほか: 溶接学会全国大会講演概要. 88, 45 (2011)
- 6) 児玉真二 ほか: 溶接学会全国大会講演概要. 99, 378 (2016)
- 7) 澤西央海 ほか: 溶接学会全国大会講演概要. 103, 272 (2018)
- 8) 松下宗生 ほか: 溶接学会全国大会講演概要. 88, 154 (2011)
- 9) 鈴木勲一 ほか: 神戸製鋼技報. 59 (1), 105 (2009)
- 10) 柴田誉 ほか: 溶接学会全国大会講演概要. 103, 274 (2018)
- 11) 杵淵雅男: 自動車シャシー部品軽量化のための熱延高張力鋼板の疲労強度に関する研究. 京都大学博士論文. 2015
- 12) 松田和貴 ほか: 溶接学会全国大会概要. 101, 18 (2017)
- 13) 児玉真二 ほか: 新日鉄住金技報. (409), 63 (2017)
- 14) 小川正裕 ほか: 溶接学会全国大会講演概要. 101, 50 (2017)
- 15) 内原正人 ほか: までりあ. 36 (4), 388-390 (1997)
- 16) 山崎亮太 ほか: 溶接学会全国大会講演概要. 103, 404 (2018)
- 17) 松葉正寛 ほか: 溶接学会全国大会講演概要. 103, 402 (2018)
- 18) 中嶋勝司 ほか: 素形材. 43 (12), 31-35 (2002)
- 19) 山田健太郎 ほか: 構造工学論文集 A. 54A, 522-529 (2008)
- 20) 富士本博紀 ほか: 塑性と加工. 58 (675), 299-303 (2017)



児玉真二 Shinji KODAMA  
鉄鋼研究所 接合研究部  
主幹研究員 工博  
千葉県富津市新富20-1 〒293-8511



松田和貴 Kazuki MATSUDA  
鉄鋼研究所 接合研究部  
主任研究員 工博



富士本博紀 Hiroki FUJIMOTO  
鉄鋼研究所 接合研究部  
主幹研究員 博士(工学)



松葉正寛 Masahiro MATSUBA  
鉄鋼研究所 接合研究部



石田欽也 Yoshinari ISHIDA  
鉄鋼研究所 接合研究部  
主幹研究員