

## アルミニウム合金製自動車部品の 補修溶接に対するアプローチ

一般社団法人 軽金属溶接協会  
榎本 正敏 ・ 笹部 誠二

### 1. はじめに

近年、自動車の軽量化要求への高まりに応じて、部品へのアルミニウム合金の適用が進みつつある。特に、パネル材については塗装工程における焼き付け処理を素材強度向上に活用できるベークハード材が適用されつつある。自動車部品のアルミニウム化が進むにつれて、修理工場では軽微な損傷に対しては、部品を丸ごと取り替えるのではなく、補修できる箇所は熱加工や溶接などを行って復元することが望まれている。しかし、アルミニウム合金については熱加工や溶接などの補修方法について、あるいはこれらを施すことによって材質にどのような影響を及ぼすかについては未だ不明な箇所が残されており、技術的裏付けとなるデータが得られていない部分もあるのが現状である。

そこで、自動車に適用されるアルミニウム合金について、これらの技術データを実験によって新たに得ることを目的とし、当協会の「自動車のアルミ接合委員会」の中に補修 WG を設置して活動を行うこととした。本稿では、パネル材のアーク溶接による補修について検討した結果を報告する。

### 2. パネル材補修時の問題点と実験目的

アルミニウム合金が自動車部品として適用されている部位とその合金種を表 1 に示す。パネル材としては、フード、トランク、フェンダ、ドアやルーフなどに Al-Mg 系(5000 系)及び Al-Mg-Si 系(6000 系) 合金が使用されている。これらの部品が、衝突や打撃などにより凹みや微小き裂などを生じた場合、それらの補修溶接時の新たな欠陥や変形を防止するために、溶接条件最適化や熱影響による素材の強度変化の把握などが重要となる。

**表 1 自動車各部材へのアルミニウム合金適用例**

	適用部材	板材		押出材	
		非熱処理型	熱処理型	非熱処理型	熱処理型
パネル	フード	5052	6016		
	フェンダ	5023	6022		
	ドア、ルーフ他	5182			
構造材	バンパーRF クラッシュボックス ドアビーム他				6061 6082 6N01 6063 7003 7N01
	サブフレーム	5154 5754	6061	5154	6061
	備考	加工硬化	熱処理硬化	加工硬化	熱処理硬化

補修溶接に際しては、被溶接材となるパネル材が厚さ 1mm 以下の薄板であることや、溶接時の継手には必ず隙間があることを考慮し、これらに対応できる溶接電源を選択する必要がある。溶接継手としては、図 1 に示すような種類が考えられ、たとえば、重ねすみ肉継手の場合には、施工条件によっては図 2 に示すような不具合が生じる場合がある。これらの不具合を避けるためには、溶接はできるだけ低入熱であることが望ましい。そのため、たとえば交流パルスミグ溶接電源の適用が考えられる。図 3 には交流パルスミグ溶接における溶接電流とワイヤ送給速度の関係を示す。断面写真は、ワイヤ送給速度を一定にして交流比率（EN 比率）を変化させたときの溶込み形状を示す。EN 比率が増すにつれて溶込みが浅くなる様子がよくわかる。そこで本稿においては、継手の隙間と溶込み形状に及ぼす EN 比率の影響もあわせて検討することとした。

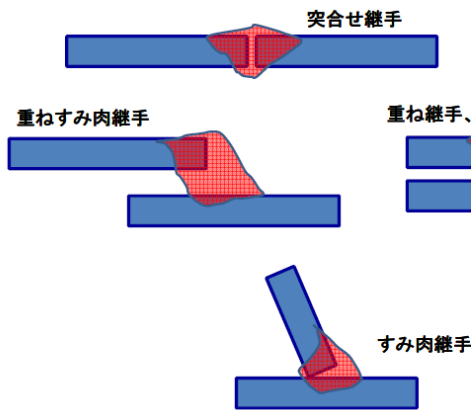


図 1 継手形状の例

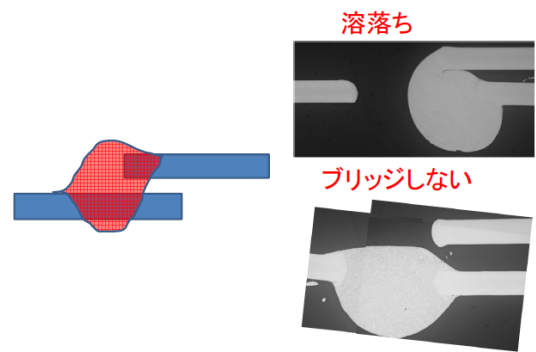


図 2 重ねすみ肉継手における溶接不具合例

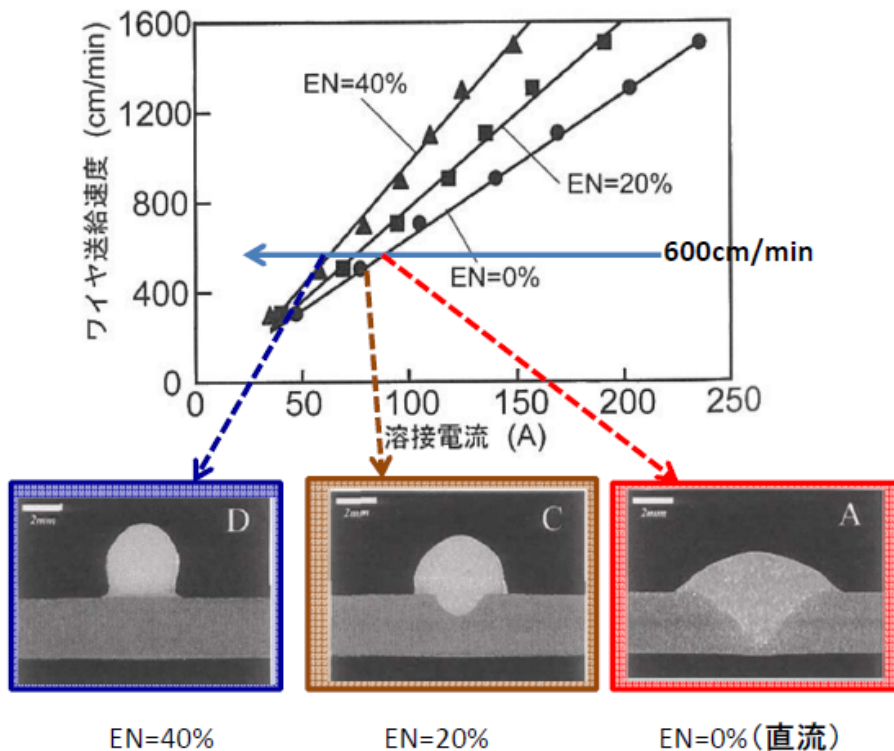


図 3 交流パルスミグ溶接による交流比率（EN 比率）と溶込みとの関係

### 3. 実験方法

用いた材料は、板厚 1mm の A5052-H32(Al-Mg 系)と 6000 系合金 T4 材 (Al-Mg-Si 系)の 2 種類である。用いた継手形状は、重ねすみ肉継手で、上板と下板との隙間を最大 1mm とした。また、溶加材として、A4043(Al-Si 系)と A5356(Al-Mg 系)の 2 種類を用い、ワイヤ径は 1.2mm とした。最適施工条件の探索と継手の引張せん断強さを測定した。なお、用いた溶接電源は、交流パルスミグ溶接が可能な DW300+である。

その溶接施工条件の最適化に関しては、①表ビードのブリッジング性②裏波の溶込み (視認できること) が両立できること、ならびに上板と下板の隙間が最大 1mm を満足しつつ継手強度が十分あることとした。

### 4. 実験結果

#### 4.1 溶接ビードの外観評価基準

上板と下板との隙間を 1mm とした場合の代表例を図 4 に示す。溶接ビードの外観評価は◎、△、×とし、◎は、表ビード及び裏波ともに欠陥がなく、かつ安定してビードが形成されているものとした。△は、表ビードは安定して形成されているものの、裏波は視認し難いものとした。×は、表ビード及び裏波ともに不安定なものとした。

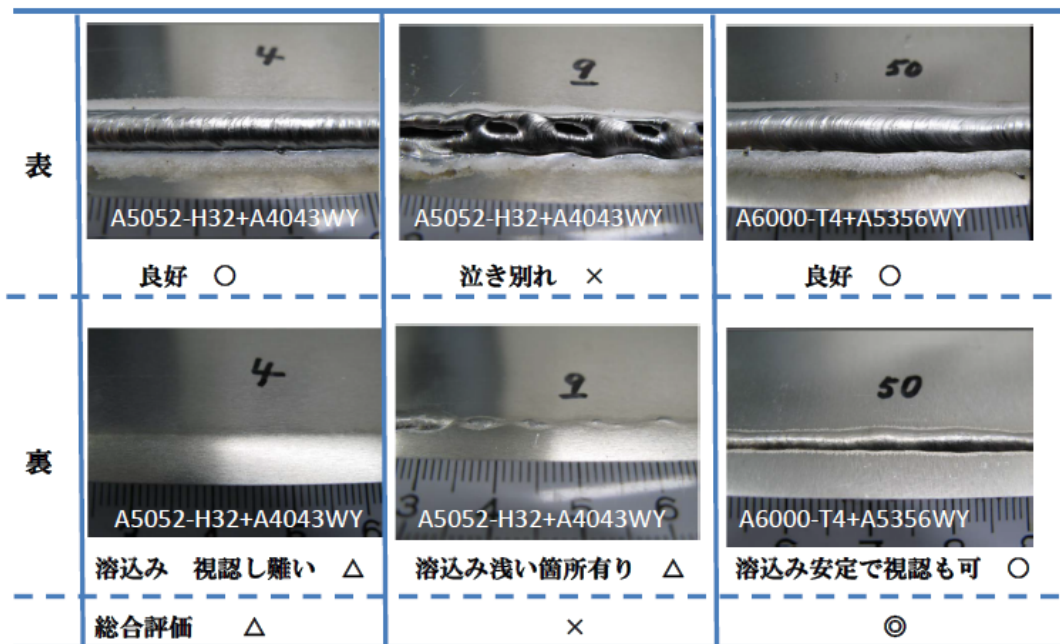


図 4 ビード表裏外観の判定基準例

これらの基準をもとに、素材、溶加材の組合せと隙間との関係におけるビード外観評価結果を表 2 に示す。この結果より、隙間が 0.5mm 以下ではいずれの組合せにおいても溶接可能であることがわかる。また、実施工時の誤差を考慮して、隙間 1mm の場合の溶接の可能性の追求ならびに評価△の継手についても引張せん断強度を引き続き測定した。

表 2 素材・溶加材の各組合せにおける上下板間隙のビード形成への影響結果

素材	溶加材	0.0mm	0.5mm	1.0mm
5052	4043	◎	◎	×
	5356	◎	◎	△
6000	4043	◎	◎	△
	5356	◎	◎	△

#### 4.2 表ビードのブリッジング性と裏波に及ぼす施工条件の影響

表 3 に表ビードのブリッジングと裏波形成に及ぼす施工因子の影響について、外観観察及び断面形状から判断した結果を示す。

表 3 ビード外観特性に及ぼす溶接施工因子の影響

施工因子	表ビード： ブリッジング性	裏波形成： 溶込み性	表ビードと裏波 形成の両立性
アークの狙い位置	↑（上材側）	↓（下材側）	
溶接電流	↓（下げる）	↑（上げる）	
溶接速度	↑（上げる）	↓（下げる）	
トーチの倒れ角度	↑（傾ける）	↓（鉛直）	
EN 比率	↑（上げる）	↓（下げる）	効果大
上記因子の方向性	入熱抑制方向	入熱増加方向	

表ビードのブリッジングをよくするにはアークの狙い位置を上板側とし、溶接電流を低電流、溶接速度を上げるといった低入熱側の条件に制御する必要がある。また、EN 比率を上げることが効果的である。一方、下板の溶込みを確保するにはアークの狙い位置を下板側とし、溶接電流を高めを設定し、溶接速度を下げるといった条件を選択する必要がある。また、EN 比率を下げることも効果的である。

これらの相反する条件を最適化していずれの要求も満足させる施工条件を探索するため、まずは下板への溶込み条件を最適化した後、EN 比率を変化させて表ビードのブリッジング性をも満足させる手順で行った。

図 5 に、母材と溶加材、板間の隙間と EN 比率を変化させたときの継手の断面形状にて示す。EN 比率を最適化することで表ビードのブリッジングならびに裏波の両立が可能であることがわかる。すなわち、板間の隙間が大きくなるといずれの組合せにおいても EN 比率を上げる必要があり、溶加材については 4043 ワイヤに比べて 5356 ワイヤを用いた場合の方が、同じ溶接条件であれば EN 比率をより上げる必要があることがわかる。

母材	溶加材	板間隙	EN比率(%)				
			0	10	20	30	40
5052	5356	0mm					
		1mm					
	4043	0mm					
		1mm					
6000	5356	0mm					
		1mm					
	4043	0mm					
		1mm					

図5 各組合せにおけるビード表裏外観特性に対する EN 比率の影響

#### 4.3 溶接継手の引張せん断強度特性に及ぼす裏波の溶込みや板間の隙間の影響

A5052-H32 材を A4043 ワイヤで溶接した継手と、6000 系合金を A5356 ワイヤで溶接したときの引張せん断強度特性に及ぼす板間隙間の影響を図 6 に示す。図中の△は、表ビードは無欠陥でブリッジングができていないが裏波がでていない外観状況を、○は、表ビードが無欠陥でブリッジングができており、かつ裏波もでていない外観であることを表す。各継手断面には割れや溶込み不良のような不完全部は認められなかった。許容する裏波としては明らかに視認できるもの、あるいは触って確認できるものも含めた。

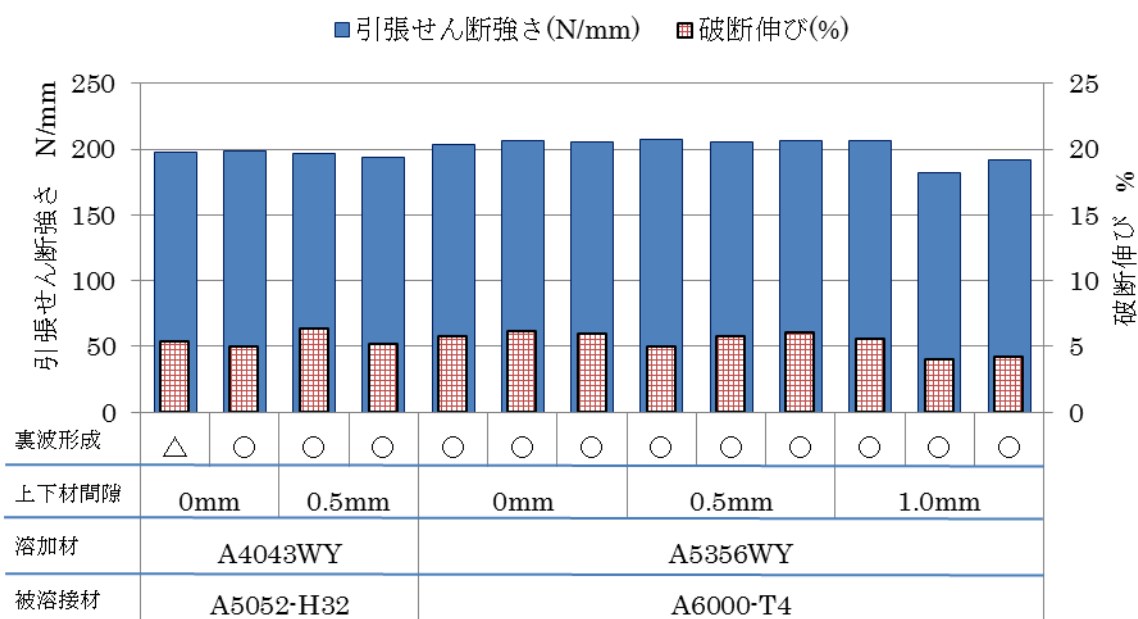


図6 各組合せにおける引張せん断強度特性 (○△は裏波形成の程度を示す)

図から明らかなように、隙間が 0mm 及び 0.5mm の場合は、裏波が視認できず触って確認できる程度のもを含めて、引張せん断強さ（単位溶接長当たりの破断荷重）に変化は認められなかった。隙間が 1.0mm の場合に、若干低い強さを示す継手がみられたが、図 7 に示すように試験時の曲げモーメントの影響によるものと推定される。いずれにしても、溶加材の種類にかかわらず板厚 1mm の薄板の重ねすみ肉継手の場合、上板と下板の隙間が 1.0mm 未満の場合には、交流パルスミグ溶接を使用し EN 比率を最適化することによって良好な継手強度が得られることがわかった。

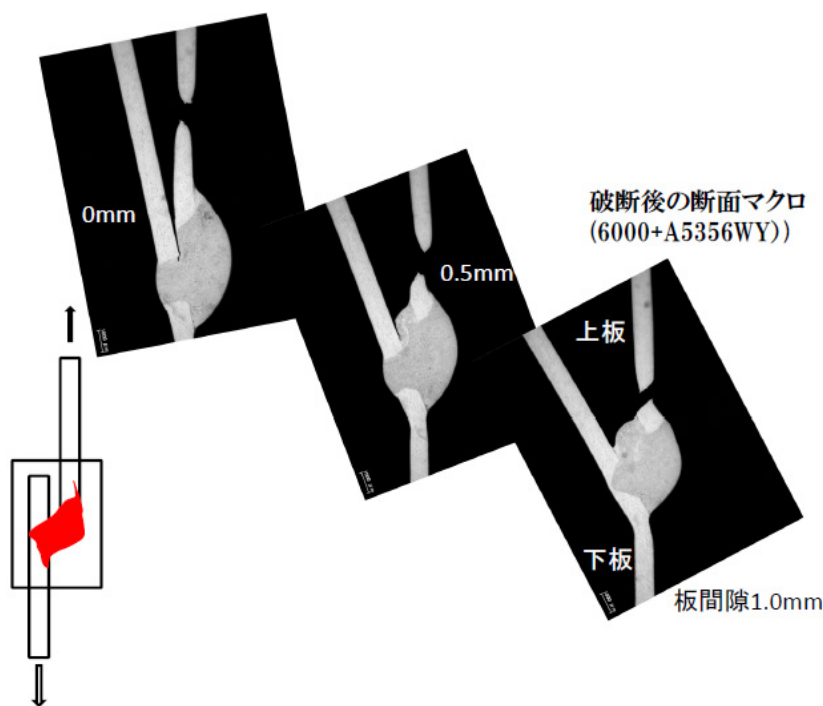


図 7 引張せん断破断時の上下材間の隙間の影響

## 5. 実験結果のまとめと今後の課題

自動車のパネルに用いられるアルミニウム合金薄板(1mm 板厚前後)の重ねすみ肉継手について、実際の補修溶接を考慮して上板と下板の間に隙間がある場合の溶接施工条件と継手の強度について実験を行い、以下の結果を得た。

- ① 溶接電源として、交流パルスミグ溶接機が適している。
- ② 最適な溶接条件としては、溶接電流 45A、溶接速度 3m/min～4m/min、EN 比率 30%前後であるとの目安が得られた。
- ③ 継手の引張せん断強さを考慮すると、補修溶接時には板間の隙間は 0.5mm 以下に保持することが望ましい。
- ④ 下材への溶込みは手で触れてわかる程度であれば強度は十分確保されており、むやみに裏波をだすような溶接条件は、溶接部の変形を考慮すると避けるのが望ましい。
- ⑤ 溶加材の種類による継手の強度差は認められない。

今後は、パネル材以外のアルミニウム合金製自動車部品の補修方法についても、業界の方々とともに取り組んでいく予定であるが、本検討で得られた結果が、パネル材の補修溶接に従事されている現場の技術者のお役に立てれば幸いである。

なお、上記の詳細な報告は、軽金属溶接協会の機関誌「軽金属溶接」に今後、掲載の予定である。

## 参考文献

Tong、上山、牛尾：軽金属溶接、Vol.39(2001),No.8,p22-28

<略歴>

### 榎本 正敏（えのもと まさとし）

- 
- 1976年 大阪大学大学院工学研究科溶接工学専攻 修士課程修了
  - 1976年 新潟工事株式会社入社
  - 1987年 「石油貯槽の溶接部に生じるマイクロ割れに関する研究」で大阪大学より工学博士の学位取得
  - 1989年 新潟工事株式会社退社
  - 1989年 昭和アルミニウム株式会社入社
  - 2000年 合併により昭和電工株式会社アルミニウム事業部門へ転籍
  - 2006年 昭和電工株式会社退社
  - 2006年 （社）軽金属溶接構造協会 専務理事 現在に至る

### 笹部 誠二（ささべ せいじ）

- 
- 1973年 福井大学工学部産業機械工学科 卒業
  - 1973年 株式会社神戸製鋼所入社 アルミ銅事業本部
  - 2011年 工学博士（東工大）
  - 2011年 一般社団法人軽金属溶接協会 技術部長 現在に至る