

自動車車体の設計自由度を向上する シングルサイドスポット^{®†}溶接技術

松下宗生¹⁾ 池田倫正²⁾ 樽井大志^{**}

1. はじめに

近年、自動車車体製造において、設計自由度の向上、生産性の向上、車体の軽量化および高剛性化の実現を目的に、部材の片側からのアクセスによる重ね溶接方法の要望が大きくなっている。これに該当する溶接方法としては、アーク溶接、レーザー溶接、抵抗スポット溶接等が挙げられる。

アーク溶接は、既に車体製造において両側からのアクセスが確保できず通常の抵抗スポット溶接が適用不可能な部位に使用されているが、溶接溶け込みの不安定性、スパッタ防止・除去コストの増大などの課題がある。レーザー溶接は、設備コストが高いことが適用拡大の大きな阻害要因となっている。その一方、抵抗スポット溶接は、シリーズ方式⁽¹⁾⁽²⁾およびインダイレクト方式⁽³⁾⁻⁽⁶⁾が片側溶接可能な方法として開発されており、どちらも通常の抵抗スポット溶接と同程度の投資コストで調達可能であることから、商業的には実現性が高く実用化への期待も高いといえる。

シリーズ方式は、図1(a)に示すように重ね合わせた板部材に対し2本の電極で加圧し電極間に通電することで2点同時に溶接する方法である。電流は両電極が接触する同一部材(図1では上板)を主に流れるため、各溶接点で重ね合わせられた2つの部材間には電流が流れ難く、部材間の抵抗発熱による溶融ナゲットの形成が困難である⁽¹⁾⁽²⁾。そのため、車体製造への適用は限定的と考えられる。

一方、インダイレクト方式は、図1(b)に示すように重ね

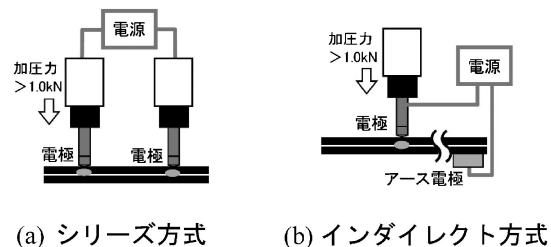


図1 片側溶接が可能な抵抗スポット溶接プロセス。

合わせた板部材に対し1本の電極を一方の部材に片側から押し当て、もう一方の部材の離れた位置に給電用電極(アース電極)を取り付けて通電させ溶接する方法である。溶接点で部材間に跨った電流が流れ易くなるため、抵抗発熱によって得られる溶融部(ナゲット)が比較的得やすい。しかし、部材の板厚、既溶接点の存在によっては溶接点以外に流れる溶接電流(分流)が変化するため、形成されるナゲット径はその影響を大きく受けるとされている⁽⁵⁾⁽⁶⁾。

この課題を克服するために、インダイレクト方式の片側スポット溶接において、溶接中の電流・加圧力の可変制御に着目し、初期は高加圧・低電流、後期は低加圧・高電流とすることで分流の比率が変化してもナゲットを安定形成可能な「シングルサイドスポット[®]溶接技術」⁽⁷⁾⁻⁽⁹⁾を新たに開発した。

2. 数値シミュレーションによる溶接現象解析

加圧力・電流の可変制御によるナゲット形成促進効果を検討するため、汎用溶接現象解析ソフト「SORPAS[®]」(SWANTEC Software and Engineering ApS製)を使用し、熱弾塑性有限要素法による数値シミュレーションを行った。図2に示すようなモデルを用い、重ね部材は上板を板厚0.7 mmの270N/mm²級冷延鋼板、下板を板厚1.6 mmの980N/mm²級冷延鋼板と想定して計算した。

図3に結果を示す。(a)加圧力・電流一定パターンでは、通電開始直後では電極-上板間で発熱し、その後は通電中に

* JFE スチール株式会社 スチール研究所 接合・強度研究部：1)主任研究員 2)部長

** 日産自動車株式会社 車両生産技術本部 生産技術研究開発センター；エキスパートリーダー
Single-Side Spot Resistance Welding utilizing In-Process Welding Current and Electrode Force Control; Muneo Matsushita, Rinsei Ikeda, Taishi Tarui (*JFE Steel Corporation. **Nissan Motor Co., Ltd.)

† シングルサイドスポットはJFE スチールの登録商標である。
2016年11月10日受理[doi:10.2320/materia.56.85]

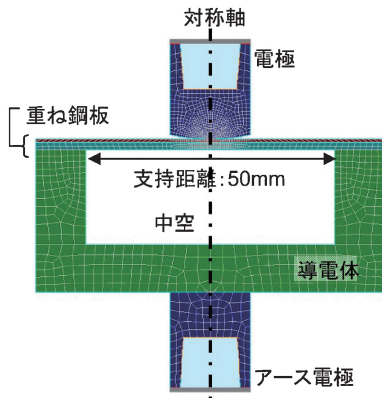


図2 片側スポット溶接の数値シミュレーションモデル。

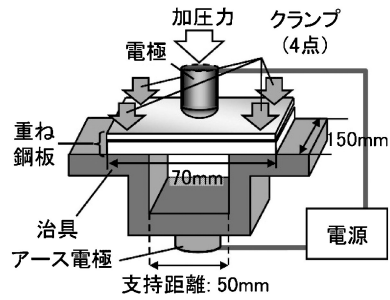
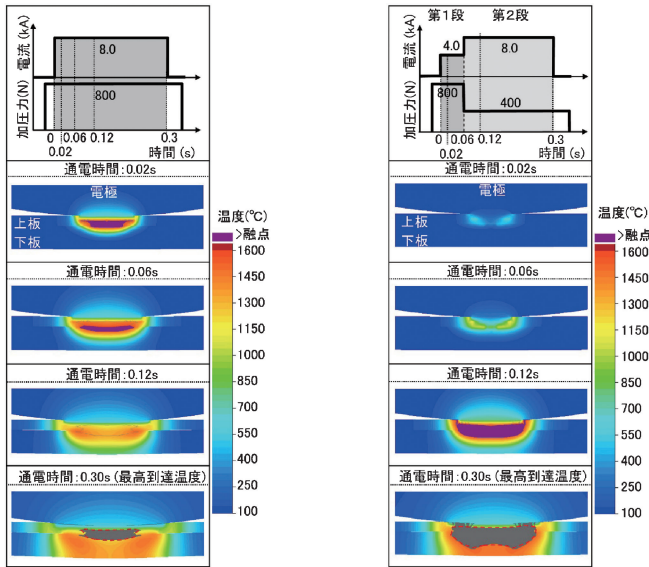


図4 インダイレクト式片側スポット溶接の装置構成。



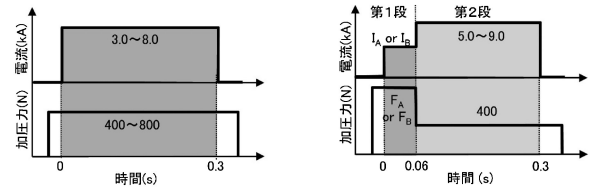
(a) 加圧力・電流一定 (b) 加圧力・電流制御

図3 溶接部温度分布の数値シミュレーション結果。

もかわらず温度が融点以下に低下した。結果として溶接中の溶融ナゲット(通電時間0.30s時の最高到達温度分布でグレー表示部分)は非常に限定的となった。一方、(b)加圧力・電流制御パターンでは、溶接中に上板-下板間の発熱が持続し、(a)と比較してナゲットが顕著に拡大した。

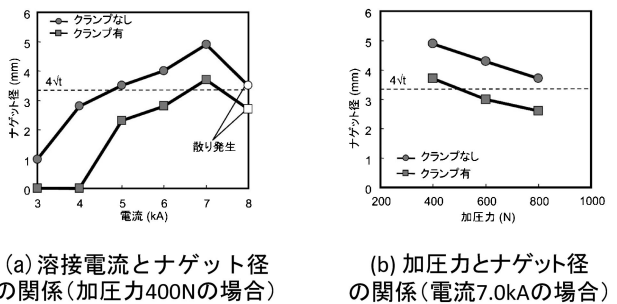
加圧力・電流可変制御パターンでは、次のようなメカニズムによりナゲット形成促進効果が得られると考えられる。

第1段階を高加圧力・低電流とすることで、十分な加圧力を負荷しながら鋼板が予熱され上板-下板間に密着面が形成され、加圧力・電流一定パターンの通電初期とは異なる安定した通電経路が確保される。その後の第2段階では低加圧力・高電流とすることで、加圧によって生じる鋼板への電極の沈み込みを回避、すなわち密着面積増大を抑制し、一方で電流を増大させたことで、第1段で形成された局所的な通電経路に優先的に電流が流れてナゲット形成が促進される、というメカニズムである。



(a) 加圧力・電流一定 (b) 加圧力・電流制御

図5 溶接条件パターン。



(a) 溶接電流とナゲット径の関係(加圧力400Nの場合) (b) 加圧力とナゲット径の関係(電流7.0kAの場合)

図6 加圧力・電流一定パターンにおける溶接結果。

3. 溶接実験によるナゲット形成促進効果の検証

数値シミュレーションと同様に、上板を板厚0.7mmの270N/mm²級冷延鋼板、下板を板厚1.6mmの980N/mm²級冷延鋼板とした板組みにおいて、図4に示す装置構成でインダイレクト式片側スポット溶接を行った。無効電流となる分流を大きくする場合は、重ね鋼板をクランプして鋼板間を密着させた状態で溶接を行った。溶接には、先端曲率半径40mmのR形電極を用い、図5に示す(a)加圧力・電流一定、(b)加圧力・電流制御の二つの通電パターンを評価した。

図5(a)の加圧力・電流一定パターンを用い、クランプ有無によって分流状態を変化させときのナゲット形成状態を図6に示す。図6(a)の加圧力400Nの場合は設定電流の増加とともにナゲット径が増大、図6(b)の電流7.0kAの場合は設定加圧力の増加とともにナゲット径は減少する傾向を示した。この傾向は通常の抵抗スポット溶接でも同様に確認されるものであるが、図6の片側スポット溶接では、いずれの場合においてもクランプをして分流を大きくするとナゲット径が顕著に減少するという特徴が確認された。

通常の抵抗スポット溶接では溶接点を2つの電極で両側

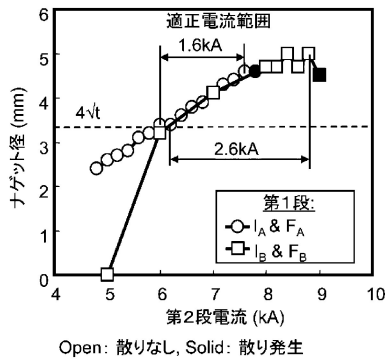


図7 加圧力・電流制御パターンにおける溶接結果(クランプ有り).



(a) 電流 I_A -加圧力 F_A の場合 (b)電流 I_B -加圧力 F_B の場合

図8 加圧力・電流制御パターンにおける溶接部マクロ組織(第2段電流7kA, クランプ有り).

より加圧把持することで、上板-下板間に局所的な密着部分を形成でき、通電時の電流密度を高くすることができる。しかし、片側スポット溶接では裏側に支持が無い場合、密着部分を確保しようとして電極加圧力を増大させると部材の撓みにより板間の密着部分は急激に拡大し、十分な電流密度を確保できずナゲットが形成されない。そのため、加圧力は比較的強く設定する必要があるが、その場合は密着部分が十分確保できず、分流の影響を大きく受け易くなったと考えられる。

次に、加圧力・電流制御パターンで溶接実験を行った。図5(b)の加圧力・電流制御パターンでクランプをして溶接した結果を図7に示す。第1段の電流値 I_A 、 I_B はそれぞれ2kA、4kA、加圧力 F_A 、 F_B はそれぞれ600N、800Nとした。図6(a)の加圧力・電流一定、クランプ有りの場合では、ナゲット径 $4\sqrt{t}$ 以上かつ散り発生しない適正溶接電流範囲は1kA以下であったが、図7の加圧力・電流制御パターンの場合では、適正溶接電流範囲が顕著に広がること示された。さらに、第1段の電流-加圧力の組合せを I_A - F_A 、 I_B - F_B とで比較すると、適正溶接電流範囲はそれぞれ1.6kA、2.6kAとなり I_B - F_B の場合はより広くなり、より適正な第1段条件であったと考えられる。図8には、第2段の電流を7.0kAとしたときの断面マクロ組織を示すが、良好なナゲット形成状態が確認された。

以上より、開発した加圧力・電流制御の通電パターンは、分流が大きい際の片側スポット溶接においてもナゲットの安定形成において有効であることが確認された。

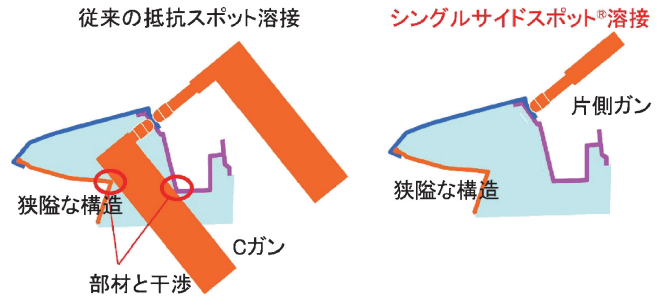


図9 シングルサイドスポット®溶接の適用検討部位.

4. 実績と将来性

開発したシングルサイドスポット®溶接は、従来の抵抗スポット溶接と比較して自動車車体の設計自由度を大きく向上させることが可能であることから、その実適用性について検討した。

近年、自動車産業では魅力的な車デザインを実現させるため先鋭的な外装デザインの要望が高く、図9に示すような狭隘な構造が要望される場合も生じている。この場合、従来の抵抗スポット溶接を適用しようとする、図9に示すように部材と溶接ガンが干渉するため溶接施工が困難である。しかし、本開発技術を採用することで溶接施工が十分可能となることが確認された。

また、本開発技術は、自動車の意匠性向上を低コストで実現できるだけでなく、車体の軽量化および製造コスト削減にも有効であると考えられ、今後の適用拡大が大いに期待される。

5. 工業所有権

本開発技術は、関連特許9件⁽¹⁰⁾を取得し、さらに他10件が出願・公開中である。

文 献

- (1) 野間一浩, 加藤慎也: 溶接技術, **52**(2004), 10-16.
- (2) 平井更之右, 竹内英世, 中垣内達也, 池田倫正: 溶接学会全国大会講演概要, **79**(2006), 432.
- (3) Y-J. Cho, I. Chang and H. Lee: Weld. J., **85**(2006), 26-29.
- (4) 長谷川芳春, 藤田浩史, 近藤岳晴, 藤本雅昭, 田辺順也, 古田正樹: Honda R&D Technical Review, **20**(2008), 106-113.
- (5) H. Nishibata, M. Fukumoto and M. Uchihara: Weld. World, **53**(5)(2009), 15-22.
- (6) 西畑ひとみ, 菊池庄太, 福本 学, 内原正人: 溶接学会全国大会講演概要, **85**(2009), 117.
- (7) 松下宗生, 池田倫正, 遠藤 茂: 溶接学会全国大会講演概要, **88**(2011), 324.
- (8) 松下宗生, 池田倫正, 大井健次: 溶接学会論文集, **32**(2014), 191-200.
- (9) M. Matsushita, R. Ikeda and K. Oi: Weld. World, Published online Feb. (2015), DOI 10.1007/s40194-015-0228-1.
- (10) 例えば, 特許第5415896号.