

「sustina」構体製造への「Smart RSW」の適用

The Application of Smart RSW for “sustina” Car Body Shell

遠藤 翔太 Shota ENDO
渥美健太郎 Kentaro ATSUMI
阿部 千明 Chiaki ABE

浅賀 哲也 Tetsuya ASAKA
西垣 昌司 Shoji NISHIGAKI

抵抗スポット溶接機に状態監視機能を持たせ、溶接プロセスにおける電流、加圧力などの主要パラメータの変動を監視する「Smart RSW」を構築した。本システムの活用の結果、通電中の主要溶接パラメータの変動がわかった。この変動を考慮し、通電中の加圧力を一定になるように制御すると、従来に比べて溶接に使用する電力量が半減することがわかった。このことから、被接合材料への入熱量の低減効果があると考えて、溶接条件を最適化したところ、従来法に比べて外観も向上した。これらの効果を「sustina」車両に反映させるべく、溶接継手としての機械的特性の調査を実施した。調査の概要と結果について報告する。

1 はじめに

鉄道車両の製造技術の根幹は、溶接技術とプレス加工技術である。近年、多品種少量生産への対応や安定した製造品質の獲得のため、当社でもこれらの製造技術のうちレーザー溶接に関する予防保全のための状態監視手法が考えられてきた^①。これに続く流れとして、抵抗スポット溶接機にも状態監視システムをコアとする「Smart RSW」を試験導入した^②。抵抗スポット溶接機の理想的なプロセスは図1に示す通りであるが、このシステムによって実際の動きを確認できるようになった。

その結果、本来通電中に一定に与えているはずの加圧力が著しく変動していることがわかった。この変動を考慮し、通電中の加圧力を一定になるように制御すると、従来に比べて溶接に使用する電力量が半減することがわかった^③。

このことから、被接合材料への入熱量の低減効果もあると考えて、溶接条件を最適化^④したところ、圧痕が小さくなるなど従来法に比べて外観も向上した^⑤。

これらの効果を「sustina」車両に反映させるべく、溶接継手としての機械的特性の調査を実施した。調査の概要と結果について報告する。

2 「Smart RSW」の「sustina」への適用状況

「sustina」車両は、種々の板厚のステンレス鋼板とそれを塑性加工した補強材とを抵抗スポット溶接やレーザー溶接によって組み立てている。

これらの溶接構造のうち、「Smart RSW」は低入熱の溶接を実現できることから、試験的に側構体の組み立てに採用している。これは、「sustina」車両の特徴とも言えるフラットな外観を得るためであり、外板へのレーザー溶接の採用との組み合わせによって相乗効果をねらっている。図2に「sustina」車両の外観を示す。

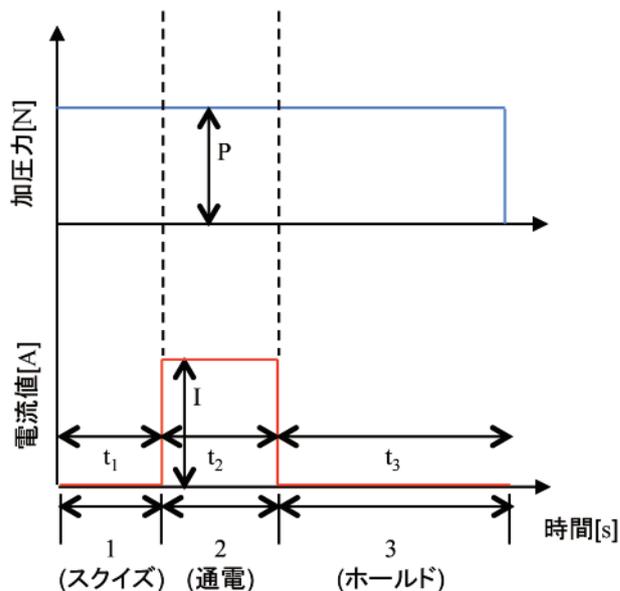


図1 抵抗スポット溶接のプロセス（目標値）



図2 「sustina」車両外観

3 「Smart RSW」適用に関する評価方法の検討

「Smart RSW」は、原理は在来の抵抗スポット溶接と大きな違いはないが、加圧力の制御方法が異なるため、溶接方法としては新しい方式となる。

「sustina」車両では、側構体の組み立てに採用することを考え、主に溶接継手としての機械的特性を中心とした妥当性確認を行なうこととした。

具体的には、以下の3項目の評価を行なった。

- ・ 溶接部外観観察
- ・ 溶接部断面観察
- ・ 静的強度試験（引張せん断試験）

これらの試験項目は在来の抵抗スポット溶接機の入替えや、構造変更がなされた場合に行なう評価項目と同等となっており、在来工法の評価に用いられてきた「JRIS-W0161 鉄道車両—作業標準—ステンレス鋼材のスポット溶接」を中心に、「Smart RSW」の妥当性を評価した。

また、動的強度試験（疲労試験）も実施し、疲労限度の確認を行なった。

4 妥当性確認結果

「sustina」車両への「Smart RSW」を適用した板厚組み合わせは全部で42通りあったが、ここでは最も多用した板厚組み合わせとなるSUS301L-DLTのt1.5mmとSUS301L-HTのt0.8mmの組み合わせに着目して、「Smart RSW」の妥当性確認を行なった。

なお、その他の板厚組み合わせも外観評価、断面観察、引張試験を行なった。

4. 1 溶接部外観観察

「Smart RSW」の溶接条件の評価のため、溶接部の圧痕を側構体の外板に相当するt1.5mmの板側から観察

した。その結果を図3に示す。参考として、在来工法で同じ板厚組み合わせの溶接を行なった外観も示す。「Smart RSW」は在来工法に比べて、約半分の電力量で溶接を行なっているため、溶接時の入熱量も少ないことが推測される。そのため、同一条件の板厚組み合わせでも、在来工法と比べて圧痕が小さく、溶接ひずみが少ないことがわかる。



(a)在来工法の圧痕

(b)「Smart RSW」の圧痕

図3 新旧抵抗スポット溶接による側構体外板部の状況

4. 2 溶接部断面観察

図3 (b) の圧痕を中央部で切断し、切断面を研磨の上、エッチングして溶接部断面の観察を行なった。図4に結果を示す。図4の上側の板が外板補強板相当のSUS301L-HTのt0.8mmの板で、下側の板が外板相当のSUS301L-DLTのt1.5mmの板である。

図4が示しているように、板の境界面で十分なナゲットを形成しており、内部欠陥も認められない良好な溶接ができていていることがわかる（詳細は省略するがJRIS-W0161を満たしている）。

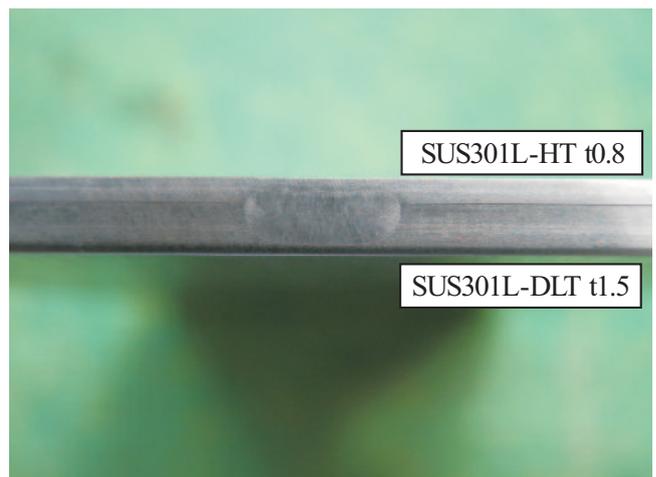


図4 「Smart RSW」による溶接部断面

4. 3 静的強度試験（引張せん断試験）

溶接試験片の両端に添え板を接着した後、試験を行なった。添え板の位置関係は図5に示す通りである。

図5に示す形状の試験片を用いて、次に示す条件で、引張試験を行なった。

- ・ 試験装置：島津製作所 AG-IS 250kN
- ・ 試験温度：常温（大気中）
- ・ 試験速度：破断まで一定速，1mm/min

試験結果を表1および図6に示す。JRIS-W0161「鉄道車両—作業標準—ステンレス鋼材のスポット溶接」で示される最小引張せん断荷重によると、この例では5.00kNであるので十分規格を満たしていることがわかる。

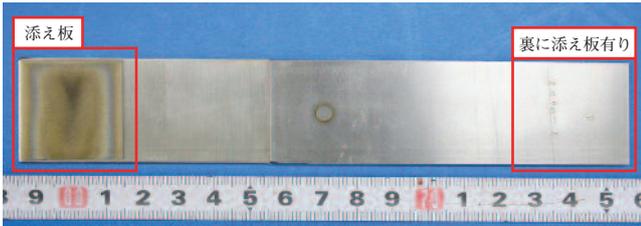


図5 引張試験片外観

表1 引張せん断試験結果一覧

形状: 平板				
単位	厚さ	幅	つかみ具間距離	
mm	1.0000	mm	mm	
mm	1.0000	mm	50.0000	
名前	弾性率 Standard	耐力点1 試験力	最大点 試験力	最大点 ひずみ
ハマーダ	1.2 kN	0.2 %		
単位	MPa	kN	kN	%
	2372800.	5.17	7.77	1.8

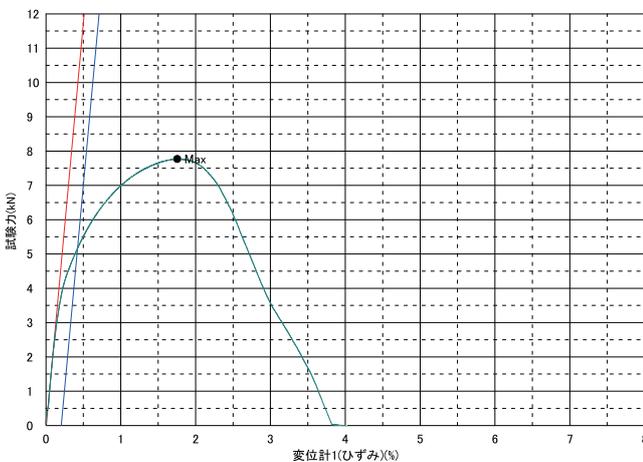


図6 荷重—ひずみ線図

4. 4 動的強度試験（疲労試験）

引張せん断試験と同様に溶接試験片の両端に添え板を接着した後、試験を行なった。試験条件を以下に示す。なお、添え板の位置関係は図5に示す通りである。

- ・ 試験装置：MTS810油圧サーボ疲労試験機，±100kN
- ・ ASTM E466
- ・ 試験温度：常温（大気中）
- ・ 波形：Sin波
- ・ 応力比：R=0.1
- ・ 周波数：40Hz

試験の結果、最大荷重0.9kN，平均荷重0.5kNで 10^7 回を達成した。S-N線図を図7に示す。

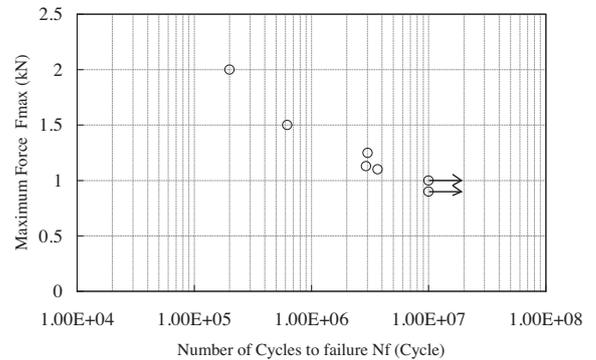


図7 S-N線図

5 まとめ

「sustina」車両への「Smart RSW」の適用を目標として、溶接条件（主に加圧力の一定制御）を最適化し、溶接部外観と、断面の観察，静的強度試験を行ない，在来工法と遜色ない結果が得られたことで，本手法の妥当性を確認した。

また，動的強度試験によって繰り返し数 10^7 回を達成し，疲労強度を確認した。

以上の結果に基づき，「sustina」車両の側構体に「Smart RSW」を採用した。

今後，ステンレス鋼製の鉄道車両構体における「Smart RSW」の適用を屋根部，妻部，台枠部へ拡大し，車両製造時の溶接で使用する電力量の低減と，各溶接部への入熱量の低減による溶接品質の向上を図っていきたい。

最後に，本論文を執筆するにあたり多大なご協力を頂いた出向中の及川昌志氏に感謝の意を述べる。

参考文献

- (1) 河田直樹，他：「ステンレス鋼板のレーザ溶接システムに関する状態監視システムの開発」，精密工学会誌Vol.75 No.5，629-633，(2009)，精密工学会
- (2) 河田直樹，他：「抵抗スポット溶接システムの異常検知技術の開発」，東急車輛技報 第61号，8-13，(2011)，東急車輛製造㈱
- (3) 河田直樹，他：「抵抗スポット溶接の加圧力制御による電力量低減の評価」，東急車輛技報 第61号，2-7，(2011)，東急車輛製造㈱
- (4) 河田直樹：「研究開発における品質工学の活用」，総合車両製作所技報 第1号，38-45，(2013)，(株)総合車両製作所

- (5) 渥美健太郎, 他: 「抵抗スポット溶接システム Smart RSWを用いた鉄道車両の圧痕外観向上に関する研究」, 総合車両製作所技報 第1号, 2-9, (2013), (株)総合車両製作所

著者紹介



遠藤翔太
生産本部
技術部 (sustina)



渥美健太郎
生産本部
技術部 (接合技術センター)



阿部千明
生産本部
技術部 (接合技術センター) 主査



浅賀哲也
生産本部
技術部 (sustina) 主任技師



西垣昌司
生産本部
技術部 部長 (設計)