

# 表面電気抵抗測定によるスポット溶接の品質評価

埼玉工業大学 島本聡<sup>\*</sup>, 山下恵太郎<sup>\*</sup>, 神尾嘉太<sup>\*\*</sup>  
電子磁気工業 赤松里志<sup>\*\*\*</sup>, 岩田成弘<sup>\*\*\*</sup>

## Quality evaluation of spot welding by surface electric resistance measurement

Akira SHIMAMOTO\*, Keitaro YAMASHITA\*, Yositaka KAMIO\*\*,  
Satosi AKAMATSU\*\*\*, Masahiro IWATA\*\*\*

Abstract: The spot welding is suitable for efficiently connecting lamina, and applied to the car and the consumer electronic, etc. voluminously. The tension shear test and the peel test, etc. are done .the confirmation of fixed strength of the spot welding in the past. However, these are the destructive tests and needing the inspection time and the inspection cost. Then, we did the examination that evaluated fixed strength of the spot welding nondestructive measuring the change in surface electric resistance in the weld. As a result, it has been understood spot welding fixation strength of a lamina is efficiently appreciable nondestructive by this method.

Keywords: Spot welding, Nondestructive testing, Surface electric resistance, tension shear test, Nugget, Maximum tension shear force, Spot welding electrode

## 1. 緒言

スポット溶接は被溶接材を重ね、局部的に電流を流しジュール加熱して溶融させる溶接方法である。薄板を能率よく接合することに適し自動車や家電などの製造に多量に用いられている。従来から、溶接固定強度の検査方法としては引張りせん断試験や簡易的には接合部の引き剥がしによるピールテストなどが行われている〔1,2〕。しかし、これらはいずれも破壊試験であり検査時間や経済的(検査費)のロスが多いものである。そこで我々は、スポット溶接の固定強度を表面電気抵抗の測定から非破壊的に評価することを検討した。その結果、スポット溶接の固定強度と溶接部における表面電気抵抗の変化の間に密接な相関関係を見出し、本方法で薄板のスポット溶接固定強度を非破壊的に能率よく評価でき、あらかじめ許容固定強度に対応する表面電気抵抗の低下率レベルを設定することにより溶接品質を管理できることがわかった。

\* Advanced Science Laboratory, Saitama Institute of Technology, Saitama

\*\* Student, Dept. of Computer Science, Saitama Institute of Technology, Saitama

\*\*\* Development Dept. Development Sect., Denshijiki Industry Co., LTD., Tokyo

## 2. 実験方法

### 2.1 試験片の作成

実験に用いた試験片の形状を図 1 に示す。片側 40mm は引張りせん断試験時の試験片クランプのために付加したスペーサであり中央部が被測定箇所である。表 1 に示すように材質は冷間圧延鋼板 SPCC と表面を Zn-Al-Mg のめっき処理鋼板 ZAM (日新製鋼商品名) とし SPCC は厚みを 4 種類に組み合わせした。溶接の固定強度品質には溶接電流、溶接電流の通電時間、溶接電極の圧接力の 3 種類のパラメータが大きく影響するが、予め溶接電極径を 2mm から 6mm まで変化させたときの最適溶接条件について汎用の交流溶接機を用いて予備検討を行いほぼ最適と思われる溶接条件で溶接した。溶接接合部に生じた溶融凝固部分(ナゲット)で電極径にほぼ比例して大きくなり固定強度も増大するので小溶接電極による溶接は溶接不良の条件に相当する。

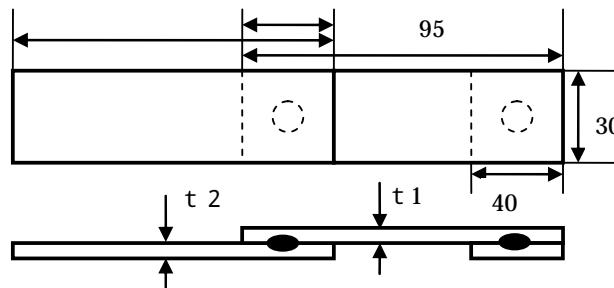


Fig.1 Shape and dimensions of the specimens [mm]

Table 1 Materials and thickness of specimens

Specimen	Materials	Thickness (mm)	
		t1	t2
A	SPCC	0.5	2
B	SPCC	1	2
C	SPCC	2	2
D	SPCC	2	3.2
E	ZAM	1	1

### 2.2 実験装置及び測定方法

試験片の引張りせん断試験は容量 2Ton の単軸引張り試験機を用いて引張り速度 0.5mm/min で実施した。

電気抵抗は図 2 に示すように電流探針間距離 5mm、電圧探針間距離 3mm を基本条件とし直線状に配置された 4 探針が試験片表面にばねにより一定圧力 0.3N で接触するようにして測定した。探針は直径 0.6mm の SK 材で先端が三角錘形状のロジュームめっき処理品である。

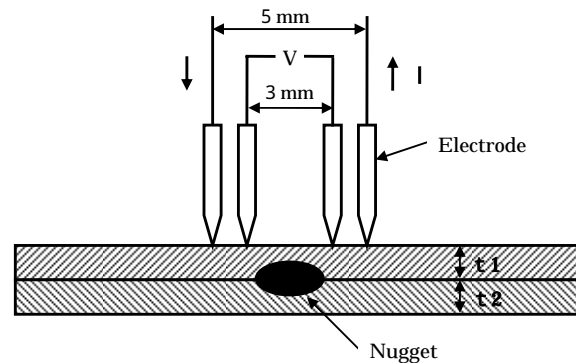


Fig.2 Measuring conditions of surface electric resistance

### 3. 実験結果及び考察

#### 3.1 引張りせん断特性

図3(a)に試験片A( $t_1=0.5\text{mm}$ ,  $t_2=2\text{mm}$ )の引張りせん断試験の結果を示す。スポット電極径が2mmの場合はナゲット部でのせん断破壊で破断(シャーク切断)しているがスポット電極径が3mm以上となって形成されるナゲットが大きくなると接合部の近傍で最も応力の集中するところから破壊し始め、接合部の円周方向に破壊が進行して破断するもので、破断後、板の一方に接合部が栓状に残ることからプラグ破断と呼ばれている。本試験片の引張りせん断強度は約2.5~3kNである。図3(b)に引張りせん断試験後の試験片の状況を示す。

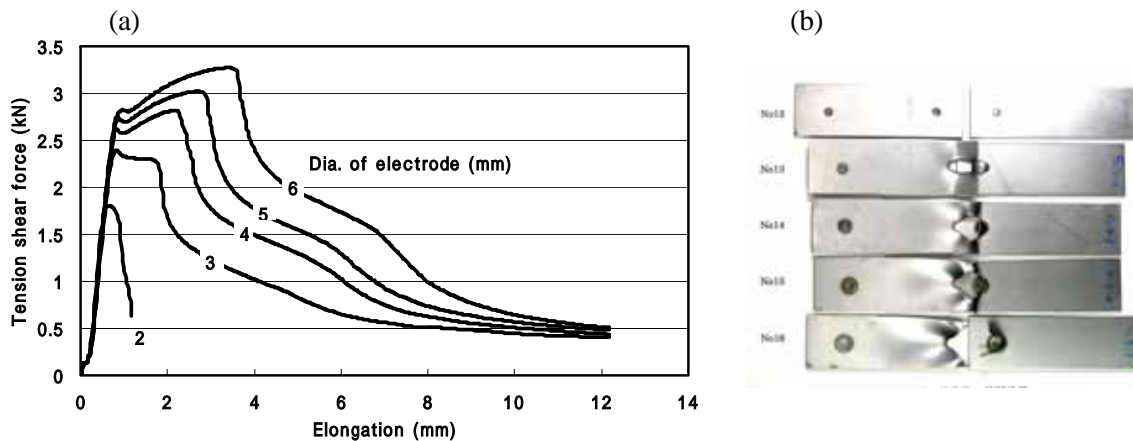


Fig.3 Tension shear test results of Type-A specimens

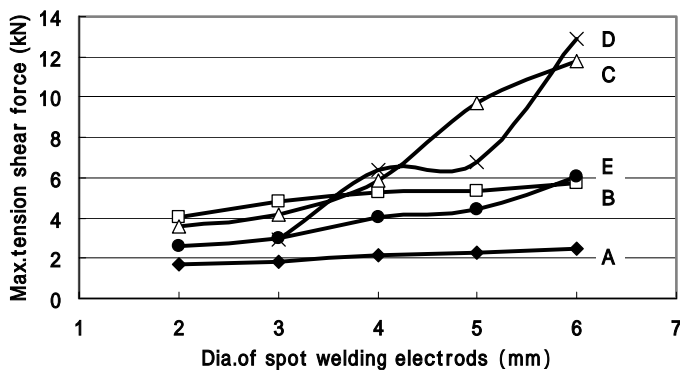


Fig.4 Maximum tension shear force of each specimen

#### 3.2 表面電気抵抗分布

図5(a)(b)にはスポット電極径( )が2mmと5mmの試験片Aのスポット溶接部15mm四方の表面電気抵抗を0.5mmごとに測定した結果である。探針がX方向に直線状に配置した条件で測定しているのでY方向と条件が異なるため、本来なら同心状の分布であるものが変形した分布で測定される。スポット溶接の影響を受けていない周辺部の電気抵抗は両試験片ともに約120 $\mu$ であるが溶接部分の電気抵抗の分布は両者で大きく異なる。溶接中央部のX-Z面で切断した分布を図6に示すが溶接電極2mmの場合は80 $\mu$ まで電気抵抗の

図4には5種類の試験片の最大せん断荷重とスポット電極径の関係を示す。最大せん断荷重はスポット電極の径および試験片の厚みと共に増大する。試験片厚みが2mm程度になると12kN程度の大きな引張りせん断荷重の値を示す。この値はJIS3140の規定値〔3〕をほぼ満足する。

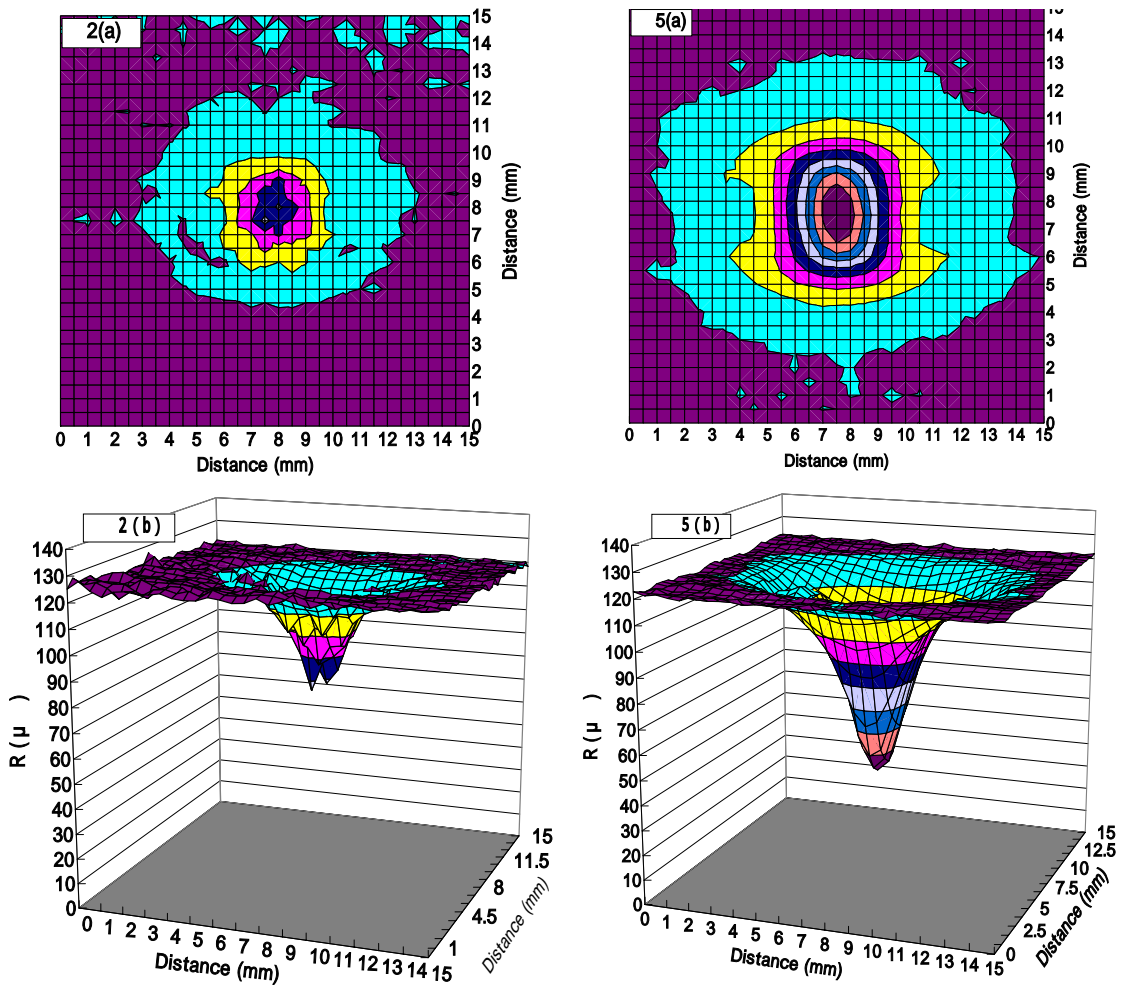


Fig.5 Distribution of surface electric resistance of Type-A specimen ( 2mm, 5mm)

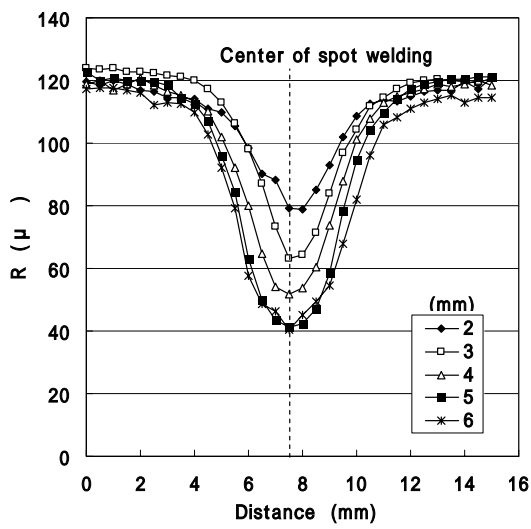


Fig.6 Influence on R distribution by electrode diameter

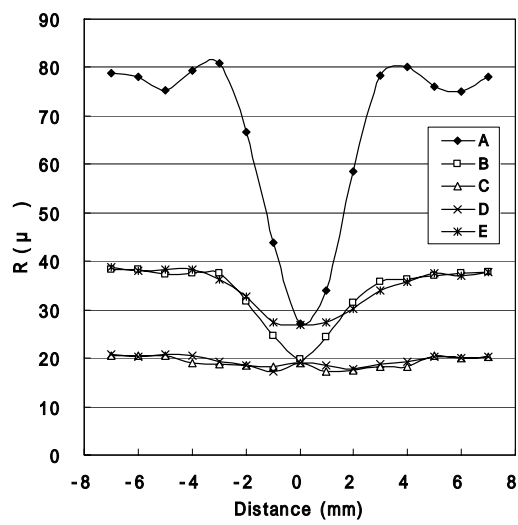


Fig.7 R distribution of each test piece (Electrode diameter = 5)

低下を示すのに対して溶接電極径 5mm の場合では大きく 40 $\mu$  まで低下している。図 7 はスポット電極径が 5mm の場合の各試験片の表面電気抵抗分布を示す。試験片の厚みが増加するにつれて表面電気抵抗は全体的に低下し、スポット溶接部の電気抵抗の低下量も減少して周辺部との差が少なくなる。これは薄板の場合にはスポット溶接部で形成されたナゲットにより裏側の材料と電気的にも接合されて見かけ状上側（被測定側）のスポット部分の厚みが増したことから考えることが出来る。本測定では表面電気抵抗は探針の配列使用検討のため電流探針間距離 13mm、電圧探針間距離 5mm で測定しているため、いずれも低抵抗に測定されている。

### 3.3 表面電気抵抗落込み率と引張りせん断強度の関係

前項に示したように表面電気抵抗は測定条件や材料の厚さおよび材質などにより基準レベルやスポット溶接部の低下量が変動するので基準レベルの表面電気抵抗値 R1 に対するスポット溶接部の電気抵抗値 R2 の低下量の比を(1)式のように電気抵抗低下率 と定義し相対的な比較ができるようにして引張りせん断強度との関係を検討した。

$$= (R1 - R2) / R1 \times 100 (\%) \quad (1)$$

図 8 には Type-A 試験片のスポット電極径 と電気抵抗低下率 の関係であり、 が 5mm 以上では は 60%以上の値を示す。同様に求めて求めた各試験片のスポット電極径 が 5mm の時の電気抵抗低下率 を表 2 に示す。

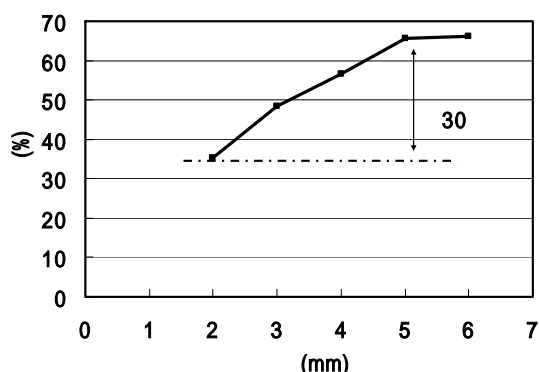


Fig.8 Influence of on (Type-A)

Table 2 of each specimens ( 5)

Type	A	B	C	D	E
(%)	65.2	47.8	5.9	8.1	30.2
t1 mm)	0.5	1.0	2.0	2.0	1.0

表 2 および図 7 で示したように試験片の厚さが 2mm 程度まで増大するとスポット溶接部の電気抵抗低下率 が 10%以下となり検出精度の低下を招く。そこで、測定精度を確認するため t=3.2mm の SPCC 表面の電気抵抗を 800 回繰り返し測定した結果を図 9 に示す。

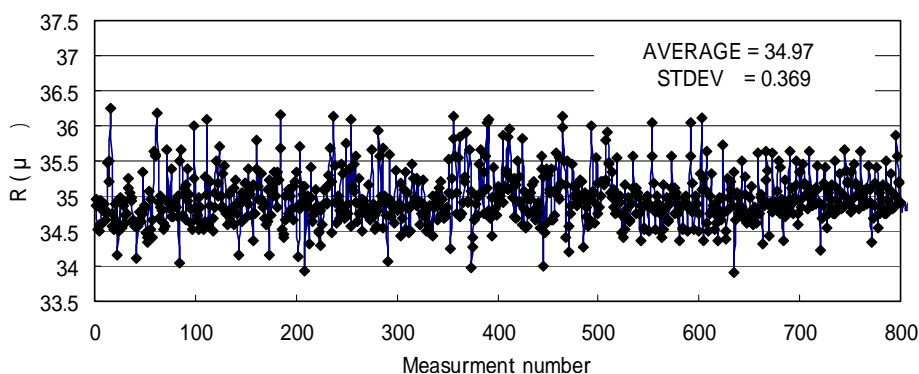


Fig.9 Measurement accuracy of R ( SPCC, t=3.2mm)

図9によると測定値は測定ばらつきを考慮すると6~7%変動することが予測されるので、表2中に示したように2mmの厚さのType-C,Dの試験片のごとくの厚い測定物には、複数回測定の平均値を用いても本4探針法による表面電気抵抗測定による低下率を適切に判断することは困難であることがわかる。そこで、30%以上の高い値を示しているType-A,B,Eの3試験片について電気抵抗低下率と引張りせん断強度との関係を求めてみると図10のごとくとなる。すなわち各材料の電気抵抗低下率がたとえば( A<sub>0</sub>, B<sub>0</sub>, E<sub>0</sub>)以上であれば溶接固定強度が所定の値以上であることを非破壊的に確認できることを示している。すなわち、所定の材質と厚みの材料をスポット溶接する場合、あらかじめ図10のごとく引

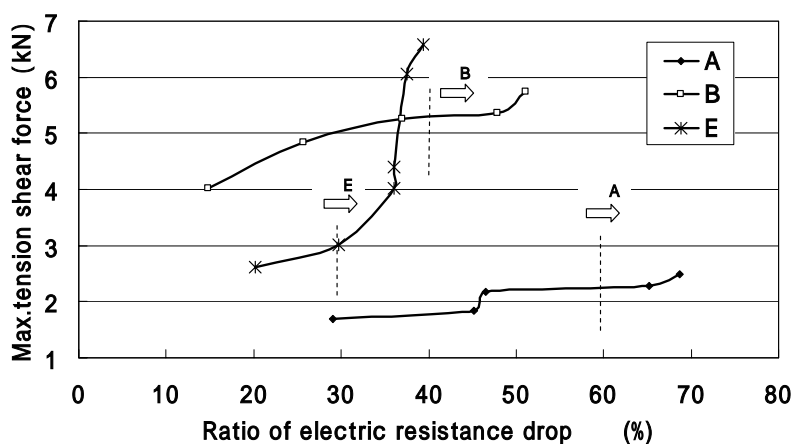


Fig.10 Relation between maximum tension share force and (Type-A,B,E)

張りせん断荷重特性と溶接部の表面電気抵抗低下率の関係を求めておけば表面電気抵抗の測定により非破壊的に接合強度を管理できる。なお、本4探針法による表面電気抵抗測定と同様な手段で鋼の焼入れ深さの非破壊検査法の検討が進んでいる〔4,5〕。

#### 4. 結言

厚さおよび材質の異なる鋼板のスポット溶接の固定強度と表面電気抵抗の変化を詳細に評価して次の結論を得た。

1. 所定の材質と厚さの鋼板のスポット溶接固定品質は、溶接部の表面電気抵抗の低下率と溶接固定強度の関係から、あらかじめ許容固定強度に対応する電気抵抗低下率のレベルを設定すれば非破壊的に溶接品質を管理できる。
2. 鋼板の場合、本方法は2mm以下の薄板に適用できる。

#### 参考文献

- 〔1〕 及川初彦, 村山元, 崎山達也, 高橋靖雄, 石川忠: 新日鉄技法, 385(2006), 36-41
- 〔2〕 日本溶接協会編: スポット及びプロジェクション溶接部の現場試験方法 (WES 1110:1995)
- 〔3〕 JIS Z3140: スポット溶接部の検査方法, (1989)
- 〔4〕 武尾文雄, 中島佳奈子: 非破壊検査, 52-1(2003), 39-44
- 〔5〕 小島隆, 赤松里志, 岩田成弘: 非破壊検査, 55-11(2006), 558-562