

# M08 4枚打ちスポット溶接における新しい溶接法の開発

重政 拓海 (指導教員 柴原・伊藤)

Development of New Welding Method on Spot Welding for 4 plates.

by Takumi Shigemasa

## Abstract

Recently, auto manufacturers have been improved fuel consumption to reduce a carbon dioxide emission and the cost of fuel. For example, by using new continuous joining methods: laser welding (LW) and friction stir welding (FSW), bonding strength is improved and weight saving is accomplished by reducing a plate thickness. However, in comparison with resistance spot welding, the weldability of these new joining methods is lower and it is more costly. Moreover, joining time is longer. Therefore, it is necessary to develop a new spot welding technique which can satisfy higher bonding strength.

If the pitch between spot welds is larger, the joining area can be larger and higher bonding strength can be obtained. However, if the pitch between welds is short, shunt current generates and then, the heat generation at the welding points becomes insufficient due to the shunt current. As a result, it becomes difficult to obtain enough bonding area called nugget.

On the assembly of automobiles, many plates must be welded at a time. Especially, when 4 plates are welded at a time, welding becomes extremely difficult. The reason is that it is difficult to determine the proper welding condition and exceeded or insufficient current can cause the generation of smaller nugget or dust. Thus, it leads to increase production cost.

In this research, the author has investigated welding conditions that can obtain enough nugget size on spot welding at the short pitch. Moreover, a new welding method is proposed on the spot welding for 4 plates. In the new welding method, welding using supporting electrodes in addition to a main electrode is developed. As a result, it is found that enough nugget size is obtained in a short time by using supporting electrodes.

## 1. 緒 言

近年、地球環境問題に対応するために自動車メーカー各社では、CO<sub>2</sub> 排出削減につながる燃費向上に関する技術開発が進められている。最近では、特定の部位や材料の薄板溶接にレーザー溶接や摩擦攪拌溶接などの新しい溶接法を用いて、連続的な接合により接合強度を確保して板厚を小さくする軽量化が行われている。しかし、断続的な接合方法である抵抗スポット溶接（以下、スポット溶接）に比べ、接合工程における安定性が低いことやコスト・時間の増加が問題となっている<sup>1)</sup>。そのため、より接合強度を高めたスポット溶接方法を開発することは重要であると考えられる。

スポット溶接は、複数枚の板を一对の電極で挟み、適度な圧力を加えながら通電して、電極と板、板間の接触抵抗による発熱を利用して加熱、熔融することで接合する溶接方法である。スポット溶接を短い間隔で実施することができれば、接合面積を増加させることが可能となり、それに比例して接合強度を向上させることができる。しかし、溶接間隔を短くすると、隣接する溶接点を経由して電流が短絡する分流と呼ばれる現象が発生し、溶接部分の発熱が不十分になる。そして、強度基準を満足するために必要な溶解部のサイズ（以下、ナゲット径）の確保が困難となる。そのため、スポット打点間は通常 50mm、部位によっては 25mm 程度の溶接間隔を設けることが一般的である。また、自動車には複数枚の鋼板を接合しなければならない箇所が存在する。しかし、現在 3 枚の板

を一度にスポット溶接している事例はあるが、4 枚以上になると抵抗熱が分散してしまい、部位によっては十分な接合強度を得られなかったり、過剰電流が流れて意図した溶接品質を確保できないという問題があるため、4 枚を一度に溶接している例はほとんどない。そのため、4 枚を接合しなければならない箇所は、いずれか 1 枚に切り欠きを入れて、スポット溶接部で 4 枚が重ならないようにしたり、ボルト締結することで対応しているのが現状である。切り欠きを入れるような工程を取ると、コストが増加するという点、またボルト締結は強度上の問題や重量化という点が課題であり、4 枚同時にスポット溶接が可能になるとそれらを解決することができる。

このように、スポット溶接は高効率かつ低コストな溶接方法であるが、電極間距離が短い短ピッチスポット溶接や 4 枚を一度にスポット溶接する 4 枚打ち等の問題を克服することで、その適用範囲を一層拡げることが可能となり、より効率的な生産が実現できると考えられる。しかしながら、これらの問題に関して実験により検討を行うことは、コストや時間の面で現実的ではないため、シミュレーションを用いて検討することが望ましい。<sup>2)</sup> そこで本研究では、これまで開発を進めている理想化陽解法 FEM を用いたスポット溶接 3 次元連成シミュレーション手法を、様々な溶接条件で解析が行えるよう拡張し、短ピッチスポット溶接における溶接条件についての検討と 4 枚打ちスポット溶接の施工における新溶接法の提案と施工条件の決定方法について検討を行う。

## 2. 適切な施工条件の選定方法

スポット溶接の適切な施工条件は、一般的に Fig.1 の斜線部に示されるようなナゲットの径の大きさで判断されている。ナゲットは、板が熔融温度 1530°C 以上となった部分で、板が熔融、接合している部分を示し、その中で  $d$  をナゲット径と定義する。ナゲット径  $d$  の適正範囲は、式(1)を満たすときと定められている。 $4\sqrt{t}$  は強度基準を満足する最低ナゲット径の大きさである。すなわち、 $4\sqrt{t} < d$  と定義される。また、電極接触径を超えたナゲットが形成されると、熔融金属が飛散するチリといった現象が生じ、接合部の強度が低下し、製品自体の品質も悪化する。本研究では、チリが発生する条件を、溶接中における溶融径が接触径を超えた場合、すなわち  $d < d_{dust}$  と定義する。本研究ではこれらの条件を満たすナゲット径を「適正ナゲット径」と定義する。

$$4\sqrt{t} < d < d_{dust} \quad (1)$$

$d$ : ナゲット径,  $t$ : 板厚,  $d_{dust}$ : チリが発生する接触径

## 3. 本手法の精度検証

### 3.1 解析モデルと解析条件

解析モデルを Fig.2 に示す。電極には銅を使用し、3 枚板打ちの単点スポット溶接を解析する。板は 120mm × 120mm で板厚は上から 0.7mm, 1.4mm, 1.8mm である。板の種類は上から 270C, 590Y, 590Y である。また、節点数は 122,250 で要素数は 115,352 である。溶接電流は直流 3kA ~ 9kA で行い、加圧力は 2450N, 加熱時間は 17cycle とする。

### 3.2 実験結果と本手法によるナゲットサイズの比較

電流とナゲット径ならびにナゲット厚の関係を Fig.3 に示す。図中のプロットは実験結果を示し、実線ならびに点線は本手法の解析結果を示している。同図において、実験結果と解析結果が良好に一致していることから、本解析の結果は妥当であると言える。

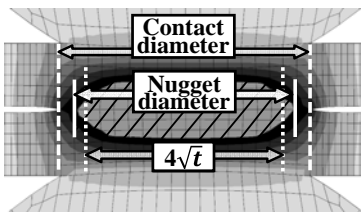


Fig.1 Connecting condition in proper nugget size.

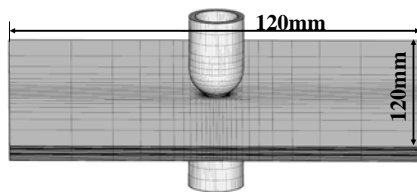


Fig.2 Analysis model.

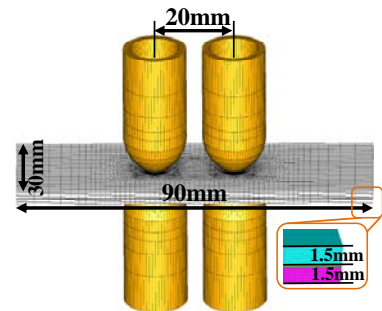


Fig.4 Analysis model of 20mm pitch.

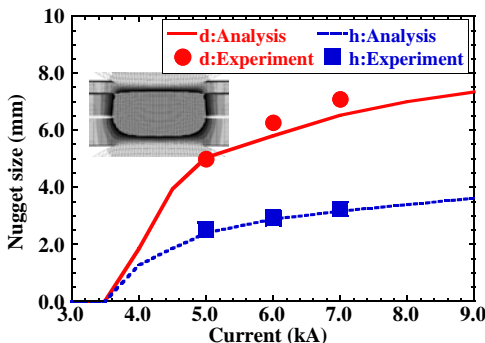


Fig.3 Relation between electric current and nugget size.

## 4. 短ピッチスポット溶接における適切な施工条件の検討

### 4.1 解析モデルと解析条件

Fig.4, Fig.5 に示すような電極間距離が異なるモデルで解析を行う。スポットピッチは 10mm, 15mm, 20mm, 50mm の 4 ケースとしており、片側の電極で溶接をし、常温 20°C まで冷却した後、もう片方の電極で溶接をし、常温まで冷却する。全ての解析モデルの電極は同じサイズの銅を使用しており、板厚 1.5mm の 2 枚の板のスポット溶接解析をする。板の種類は、270C を用いる。溶接条件は、電流・通電時間・加圧力のそれぞれを変化させて、最適ナゲット径が形成される条件について検討する。

### 4.2 スポットピッチが分流量に及ぼす影響

Fig.6 にスポットピッチが 10mm のときの 2 打点目の最高到達温度分布を示す。同図より、溶接部以外の被溶接材上面の温度が上昇しており、1 打点目に形成されたナゲットに分流が発生していることが確認できる。また、Fig.7 は 2 打点目に与えている電流量とその内の分流割合との関係を示している。同図より、スポットピッチが小さくなるのに伴い、分流割合が増加することが分かる。また、それぞれのスポットピッチに関しては、電流量の増加に伴い、分流割合も増加していることが確認できる。これは、電流の増加とともに発熱量が増加し、それにより材料特性として電気抵抗が上昇することで既溶接点に分流したと推察される。また、スポットピッチ 10mm と 50mm とでは 20% 以上もの分流割合の差があらわれている。

### 4.3 電流量がナゲット径に及ぼす影響

電流量とナゲット径の関係を Fig.8 に示す。図中●は 1 打点目の解析結果を示し、図中○, △, □, ◇はスポットピッチごとの 2 打点目の解析結果を示す。同図より、全てのスポットピッチにおいて電流量の増加に伴いナゲット径が大きくなることを確認できる。

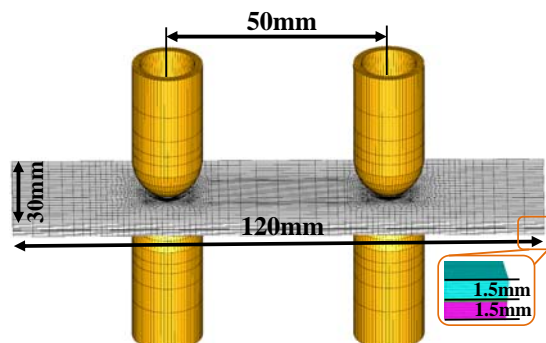


Fig.5 Analysis model of 50mm pitch.

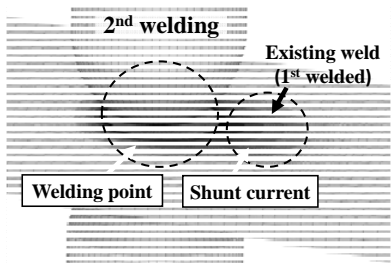


Fig.6 Temperature distribution generating shunt current.

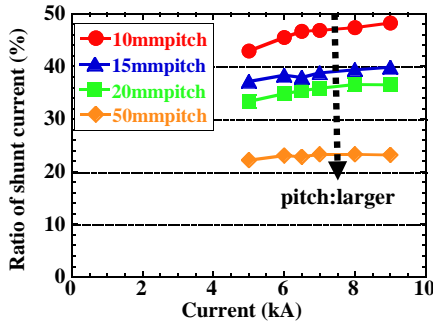


Fig.7 Ratio of shunt current to total current.

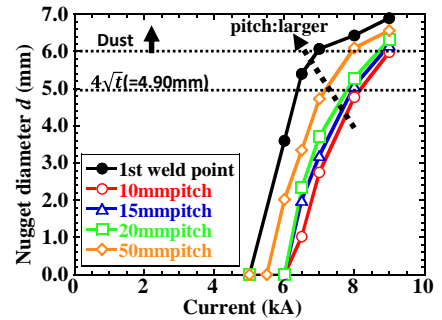


Fig.8 Relation between current and nugget diameter.

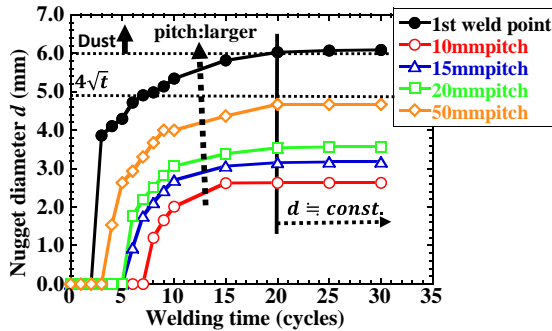


Fig.9 Relation between welding time and nugget diameter.

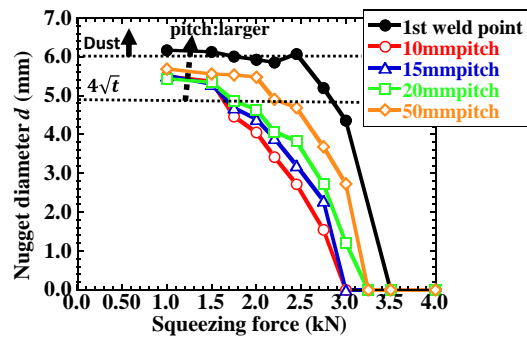


Fig.10 Relation between squeezing force and nugget diameter.

#### 4.4 通電時間がナゲット径に及ぼす影響

通電時間とナゲット径の関係を Fig.9 に示す。同図より、全てのスポットピッチにおいて通電時間の増加に伴いナゲット径が大きくなるが、約 20 サイクル以降はほぼ一定になることが確認できる。これは、ナゲット径が電極接触径を超えると被溶接材間から熱が放出することが原因だと考えられる。

#### 4.5 加圧力がナゲット径に及ぼす影響

加圧力とナゲット径の関係を Fig.10 に示す。同図より、全てのスポットピッチにおいて、加圧力の増加に伴いナゲット径が小さくなる傾向が確認できる。また、加圧力が約 3.3kN 以上ではナゲットが形成されていない。これは、加圧力の増加に伴い接触面積が増加し、電流密度が減少することで抵抗発熱量が小さくなるためと考えられる。

#### 4.6 適正溶接条件の選定

スポットピッチ 20mm のモデルにおいて、2 打点とも適正なナゲット径が形成される溶接条件を選定する。Fig.11 斜線部①②は、スポットピッチ 20mm、加圧力 1500N の

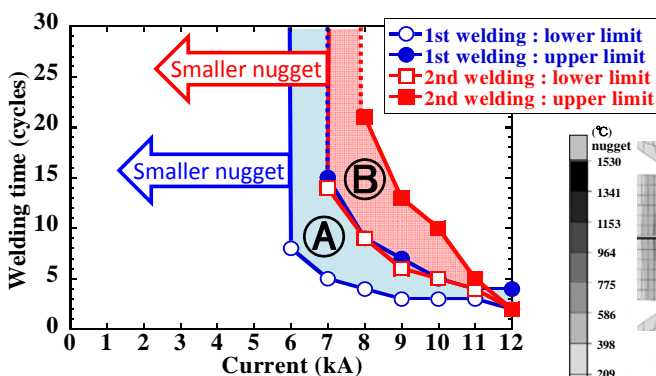


Fig.11 Proper welding parameter on 1500N in squeezing force.

条件下において電流量と通電時間を変化させた際の適正ナゲットが形成される範囲を示す。図中○、□印はそれぞれ 1 打点目、2 打点目における適正なナゲット径が形成される条件の下限値を示し、●、■印はそれぞれ 1 打点目、2 打点目におけるチリが発生しない条件の上限値を示している。すなわち、この下限値と上限値で囲まれる適正範囲①②がそれぞれ 1 打点目、2 打点目適正ナゲット径の形成される溶接条件とみなすことができる。同図より、1 打点目と 2 打点目で適正範囲が重複している溶接条件を Table 1 のように選定し、その条件で解析を行った結果を Fig.12 に示す。Fig.12(a), (b)はそれぞれ 1 打点目、2 打点目の溶接点での最高到達温度分布を示す。同図より、1 打点目、2 打点目ともに同溶接条件で適正なナゲット径が形成されることが確認できる。

#### 5.4 枚打ちスポット溶接法案の提案

Fig.13 に示すような 4 枚の板を同時に溶接した際、全ての板間において適正なナゲット径が生成される溶接方法について検討する。被溶接材である 4 枚の板材は実施

Table 1 Welding conditions for analysis of 20mmpitch .model.

Current (kA)	Welding time (cycles)	Squeezing force (N)
9.0	7.0	1500

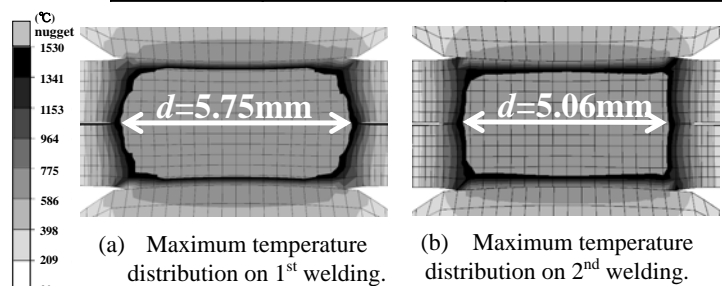


Fig.12 Maximum temperature distribution of 20mmpitch model.

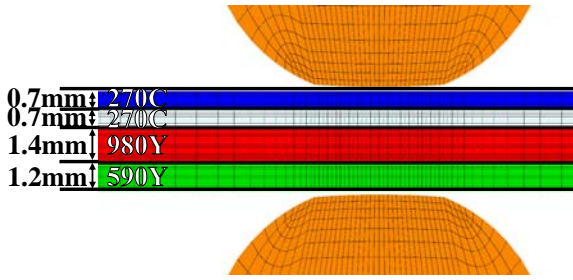


Fig.13 Details of 4 welded plates.

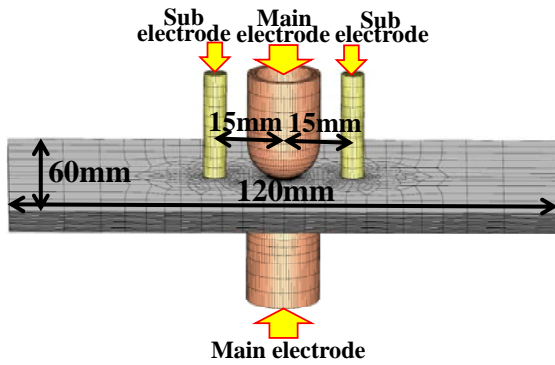


Fig.14 Analysis model using sub electrodes.

Table 2 Welding conditions.

Current (kA)	Welding time (cycles)		Squeezing force (N)	
	Main electrode	Sub electrode	Main electrode	Sub electrode
11.0	8	6	2500	2500

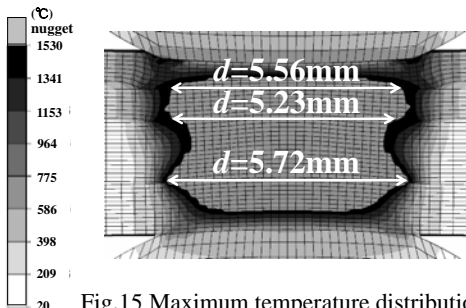


Fig.15 Maximum temperature distribution.

工を想定し、上から順に0.7mmの270C材料を2枚、1.4mmの980Y材料を1枚、1.2mmの590Y材料を1枚用いる。通常のスポット溶接法を用いると、270C材間に十分なナゲットが形成されず、入熱量を大きくしても980Y材に過度なナゲットが形成されチリが発生してしまう。そこで、以下の2つの溶接法案を提案する。

### 5.1 補助電極を用いた溶接法案

Fig.14に示す解析モデルにより、通常用いる主電極に加えて板の上面(270C材側)を補助電極で加圧・通電し、生じた分流によってナゲットが形成されにくい270C材間にも適正なナゲット径を形成させることを試みる。

Table 2に示す溶接条件を用いて解析を行う。加圧・通電は主電極と補助電極同時に開始し、6cycle後補助電極を除荷し、その2cycle後主電極を除荷する。Fig.15に解析結果の最高到達温度分布を示す。同図より、全ての板間で適正ナゲット径が形成されることが確認できた。

### 5.2 上下異なる電極を用いた溶接法案

Fig.16は上下異なる電極を用いた解析モデルである。上(270C材側)の電極には接触径がR30の電極を用い、下(590Y材側)の電極には接触径がR70の電極を用いること

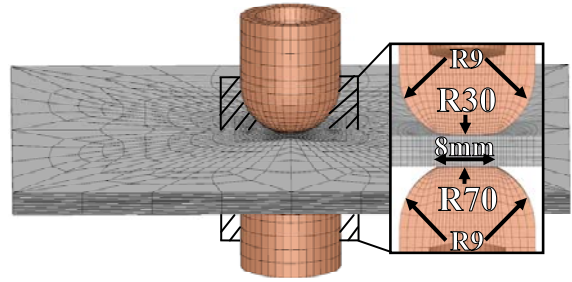


Fig.16 Analysis model using different electrodes.

Table 3 Welding conditions.

Current (kA)	Welding time (cycles)	Squeezing force (N)
10.0	3.0	3500

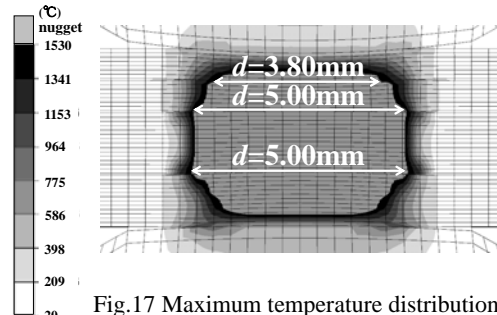


Fig.17 Maximum temperature distribution.

で被溶接材間の接触面積を変化させ、270C材間にも適正なナゲット径を形成させることを試みる。

Table 3に示す溶接条件を用いた解析結果の最高到達温度分布をFig.17に示す。同図より、全ての板間で適正ナゲット径が形成されることが確認できた。

## 6. 結 言

本研究では短ピッチスポット溶接の実現と、4枚打ちスポット溶接を可能にする溶接法案を開発することを目的とし、理想化陽解法FEMを用いたスポット溶接3次元連成シミュレーション手法を用いて検討した結果、以下の知見を得た。

- 1) 本解析手法による解析結果と実験結果が良好に一致したことから、本解析による結果は妥当なものであることが分かった。
- 2) 短ピッチスポット溶接において本研究による評価方法を用いると、適正な溶接条件を選定できることが確認できた。
- 3) 補助電極や接触径が異なる電極を用いることで、4枚打ちスポット溶接を可能にすることを示した。

## 参 考 文 献

- 1) 里中忍,岩本知広:スポット溶接による軽量化接合技術とその課題,日本溶協会誌 第59巻第3号, p44.
- 2) MA Ninshu, MURAKAWA Hidekazu : Numerical and Experimental Study on Nugget Formation in Resistance Spot Welding for three pieces of high strength steel sheets, Journal of Materials Processing Technology, 210, (2010), 2045-2052