

# 電位差法を用いたスポット溶接の非破壊評価法

Non-destructive evaluation of spot welding by potentiometric method

ナゲット検査器NT-4102

電子磁気工業(株) 岩田 成弘

## 1. はじめに

抵抗溶接は高温圧接の一種で、各種圧接法のなかで最も多く用いられている代表的存在である。抵抗溶接は、接合すべき部分に直接高電流を通じて、その電流による抵抗発熱で溶接部の温度を上昇させ溶接を行うため、極めて短時間で溶接でき、高速・高能率という点から、特に大量生産品に適している。抵抗溶接には板を重ね合わせて点状や線状に接合する重ね抵抗溶接があり、主として薄板用の技術で、自動車、家電製品その他板金量産製品に多彩な用途を有している。さらに重ね抵抗溶接には抵抗溶接の主流を成すスポット溶接があり、自動車産業を支える重要な技術となっている。

一般的には車体をはじめドアフレームやマフラー、シートなど様々な部位に、車両当たり5,000点以上のスポット溶接が施されている。従来のスポット溶接部の主な検査には、溶接部の板間にハンマでたがねを打ち込み、溶接部の強さを判断するたがね試験、スポット溶接の中心を通るように切断し、その断面からナゲット径、溶込み、割れなどの内部欠陥を検査する断面試験が行われているが、いずれも破壊検査であり検査時間や経済的（検査費）なロスが多いものである。また、近年は強度を維持して軽量化を行うために、軟鋼の代わりに高張力鋼が採用さ

れ始め、高張力鋼のスポット溶接部は軟鋼と比較して硬く接合力が強く、作業者は容易にたがね試験ができない。このように破壊試験は廃棄品を発生させ製品ロスを生み多大な費用を損失させ、その作業に携わる作業者負担も大きいため、これらを改善可能な非破壊検査法が強く求められている。

スポット溶接の非破壊評価法には従来から超音波法、磁気法、渦電流法等が研究・開発されている。しかし、広く利用されていないのが現状である。この理由として、評価精度が十分でないことに加え、原理的な評価精度が明らかにされていないこと、作業性が現場の要求を満たさないこと等によると考えられる。以上を鑑みて、本稿では電位差法を用いたスポット溶接の非破壊評価法を提案する。以下、その概要を紹介する。

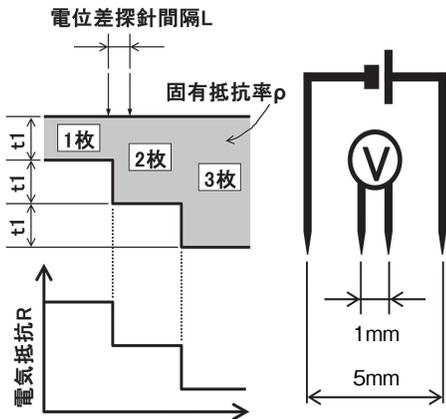
## 2. 評価原理

本提案ではスポット溶接の評価方法として直流電位差法を用いる。一般的に、物質固有の電気抵抗率 $\rho$ と導体の電気抵抗の間には「電気抵抗 $R$ は、導体の長さ $L$ に比例し、断面積 $S$ に反比例する」（式(1)）の関係が成り立ち、このときの比例定数が固有抵抗率 $\rho$ である。

$$R = \rho \frac{L}{S} \quad \dots(1)$$

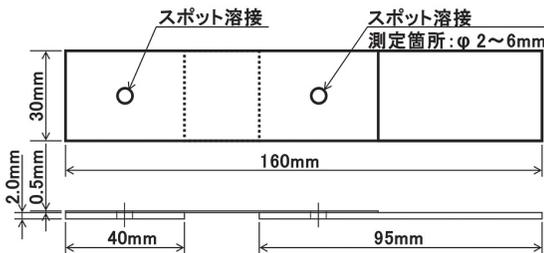
式(1)をスポット溶接に適用すると、導体の長さ $L$ は電位差探針間隔であるためプローブ固有の定数と考えられ、固有抵抗率 $\rho$ は物質固有の定数である。従って電気抵抗 $R$ は断面積 $S$ のみに影響されることになる。

板厚 $t_1$ の鋼板のスポット溶接において、1枚の未溶接、2枚溶接、3枚溶接は溶接枚数が多くなるにつれて断面積 $S$ が大きくなる。この結果、電位差測定においてスポット溶接の評価を行うと、溶接された箇所のみ電気抵抗 $R$ が減少し、ナゲット径を容易に測定できる。評価に使用した4探針プローブの概略図を第1図に示す。本提案で使用した4探針プローブは電流探針間隔が5mm、電位差探針間隔が1mmのものを使用し、通電電流は1A一定とした。



第1図 評価概略と4探針プローブ

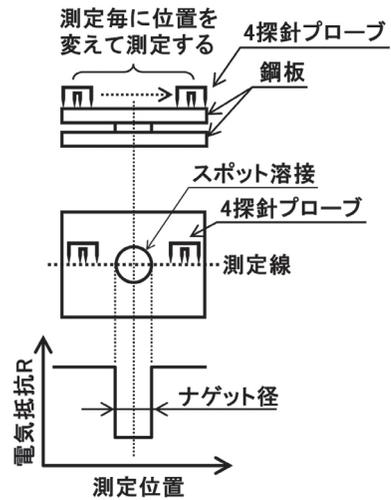
本提案で用いた試験片の材質は冷間圧延鋼板 (SPCC) で、形状は第2図に示す。試験片は板



第2図 試験片形状

厚0.5mmと板厚2.0mmの2枚溶接で、スポット溶接部のナゲット径を $\phi 2, 3, 4, 5, 6$ mm狙いとして作製した。

この4探針プローブを用いた評価方法の概略図を第3図に示す。評価方法としては4探針プローブをスポット溶接の中心を通るように繰返し位置をずらして電位差測定を行い、図中の測定線における電位差分布を取得し、得られた電位差分布よりナゲット径を算出し、スポット溶接の評価とする。



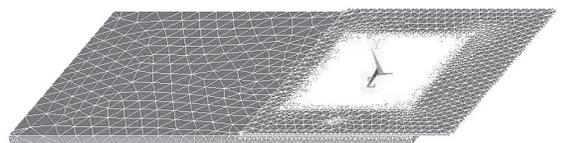
第3図 スポット溶接の評価

### 3. 評価結果

本評価法を検証するうえで有限要素法によりスポット溶接 (2枚溶接) の解析をした。

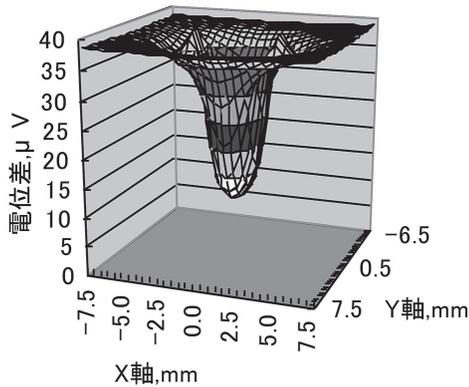
解析を行ったFEMモデル (メッシュ) を第4図に示す。

解析条件としては、上板、下板は同材質とし、前項までの4探針プローブおよび試験片形状に

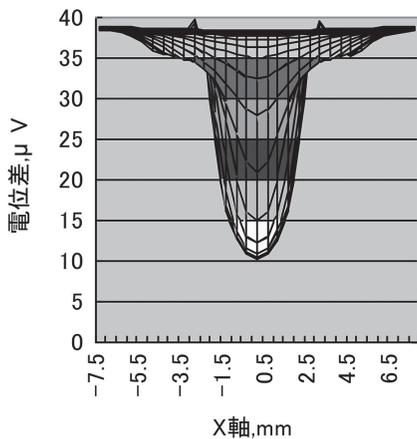


第4図 スポット溶接FEMモデル

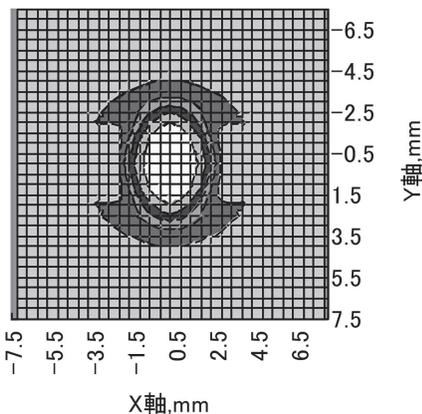
よる解析を行った。ナゲット径φ5mmにおける解析結果を第5図～第7図に示す。解析結果より、スポット溶接の電位分布は溶接中心で最



第5図 電位分布解析結果 (3D)



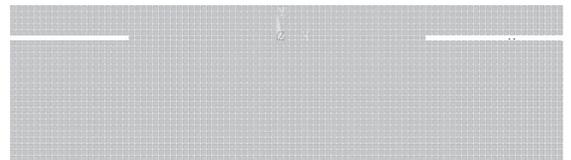
第6図 電位分布解析結果 (断面)



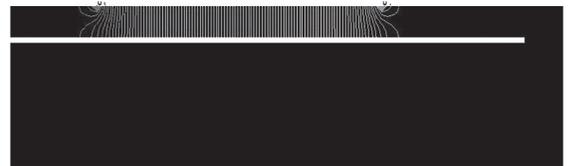
第7図 電位分布解析結果 (上面)

小値を示し、溶接境界において最大値を示す傾向があることが分かった。

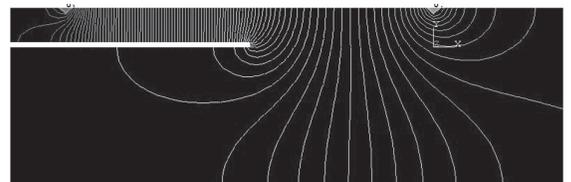
次に前述した溶接境界において最大値を示すことを検証するために、溶接中心における断面の電位分布を有限要素法により解析をした。解析を行ったFEMモデル (メッシュ) を第8図に示す。解析は4探針プローブが未溶接部にある場合、プローブの中心が溶接境界にある場合、プローブが溶接内にある場合の3タイプを行った。各々の解析結果を第9図～第11図に示す。



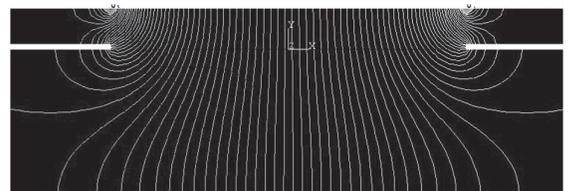
第8図 スポット溶接2Dモデル



第9図 電位分布 (未溶接部)



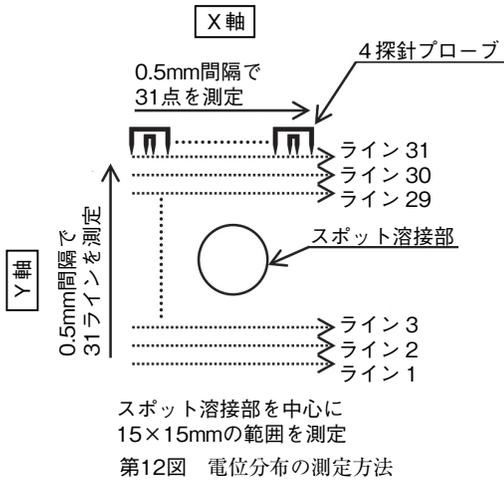
第10図 電位分布 (溶接境界部)



第11図 電位分布 (溶接中心部)

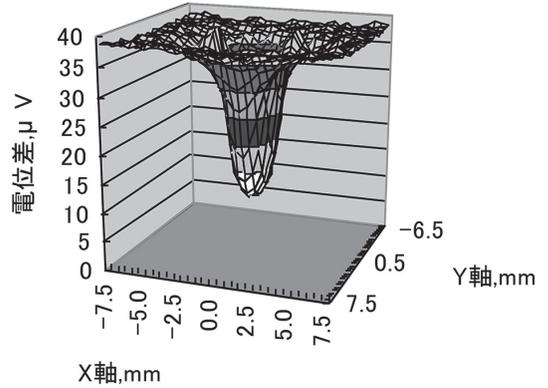
解析結果から、4探針プローブが未溶接部にある場合および溶接内にある場合は、プローブを中心にして試験片内部において左右対称の電

位分布になっていることが分かる。4 探針プローブの中心と溶接境界が一致したときにおいては、電位分布がプローブの左右で大きく異なり、最も電位差が生じることが判明した。この結果から、電位分布の最大値を検出することにより溶接の境界を検出でき、ナゲット径の測定が行えることが明らかになった。前項の有限要素法解析の妥当性を検証するために、試験片において実際に電位差測定を行った。測定方法を第12図に示す。

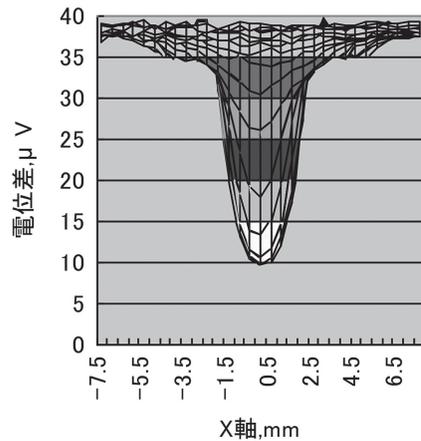


測定においては、プローブをX軸方向に設置し、0.5mm間隔で位置をずらし、31回（15mmの範囲）の測定を行い、これをライン1とする。次にY軸方向に0.5mm移動して、同様に測定を行いライン2とする。これを31回（15mmの範囲）行い、15mm×15mmの電位分布を取得する。ナゲット径φ5において取得した電位分布を第13図～第15図に示す。

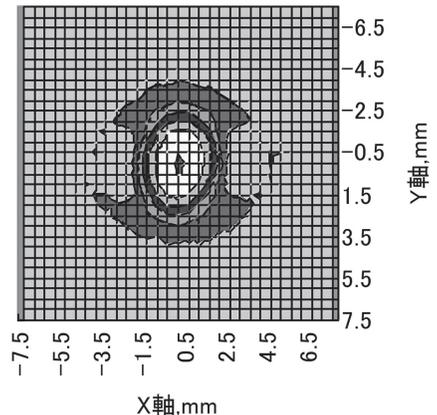
測定結果より、有限要素法の解析結果と電位分布測定結果を比較すると、同様の結果が得られたことが分かる。ただし、有限要素法解析において見られた溶接境界においての最大電位差値が電位分布測定結果では判別が困難になっている。これは、最大電位差値はプローブの中心が溶接境界と一致したときに生じること、 $\mu V$ の測定を行っているために測定誤差が最大電位差



第13図 電位分布測定結果 (3D)



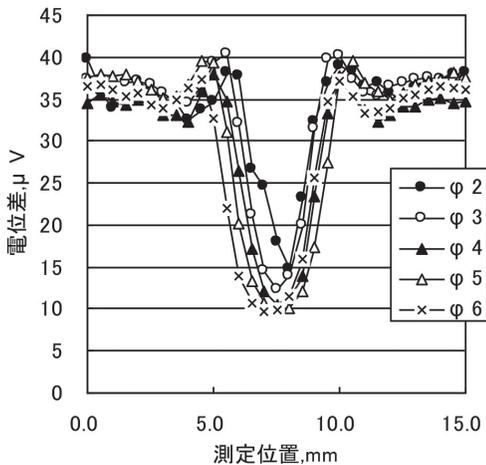
第14図 電位分布測定結果 (断面)



第15図 電位分布測定結果 (上面)

値に影響を与えていること等の原因が考えられる。また、実際の測定において溶接の境界とプローブの中心を一致させることは困難である。

ナゲット径φ2、φ3、φ4、φ5、φ6mmの試験片について、スポット溶接中心の電位分布測定結果を第16図に示す。



第16図 各径の電位分布測定結果

第16図よりナゲット径が大きくなるにつれて、電位分布の幅も増加していることが分かる。また、電位分布中心の最小値においてもナゲット径が大きくなるにつれて減少していることが分かる。

これら結果を鑑みて、本評価法においてナゲット径を算出するためには、しきい値を設けて、ナゲット径を算出する必要があり、最適なしきい値を設定すれば本評価法はスポット溶接の非破壊評価法として利用できると考える。

#### 4. 評価装置

前項までの評価方法を搭載したナゲット検査器「NT-4102」を開発した。装置の概略としては、電位差測定を行う制御装置、探針の切替を行う切替装置(写真1)、探針を複数配列したプローブ(写真2)の構成となる。また、専用アプリケーションソフト(第17図)により、測定結果をリアルタイムに可視化できるようになっている。

前項までの評価方法では、探針の配列は4本



写真1 ナゲット検査器NT-4102

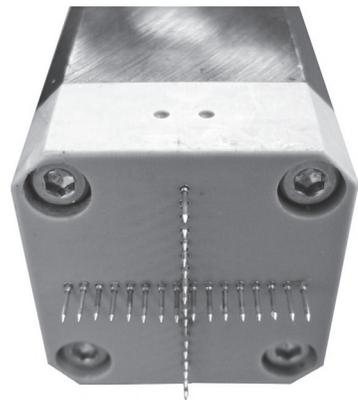
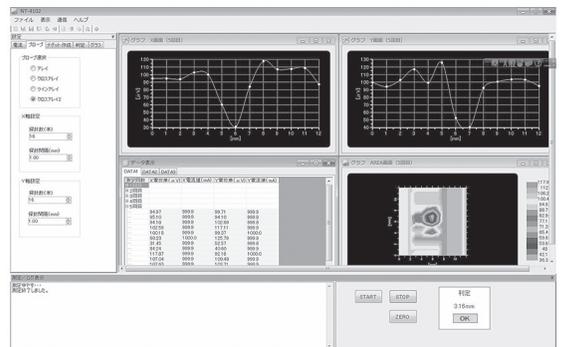


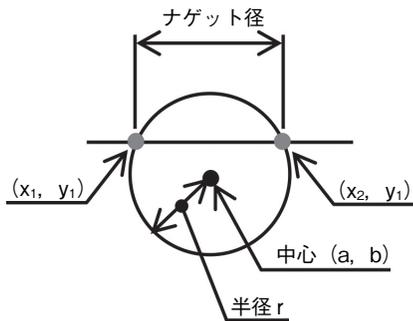
写真2 十字プローブ



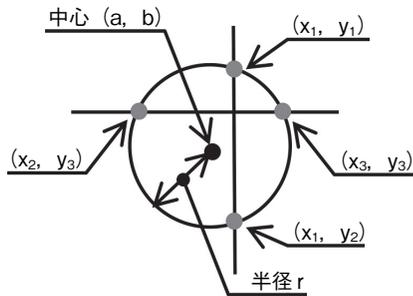
第17図 専用アプリケーションソフト

で、4探針プローブをマトリクス状に測定を実施するが、本装置では測定時間の短縮を考え、1軸タイプ、2軸十字タイプの配列を採用した。第18図のような1軸の配列は溶接境界(しきい値との交差点)が2点検出される。これはプローブの配列と溶接の中心線が一致したときは、

誤差なく測定可能だが、溶接の中心とプローブの軸が一致しなければ測定に誤差が生じ、実際のナゲット径より小さく評価される。一方、第19図のような2軸十字タイプは溶接境界（しきい値との交差点）が4点検出可能で、検出された4点から円の方程式を用いて溶接の中心、溶接の直径を算出する。これによりプローブの中心がナゲットの中心から外れた場合においてもナゲットの中にプローブの中心が存在すれば誤差なく測定が可能である。



第18図 1軸測定の概要



第19図 2軸測定の概要

## 5. おわりに

開発したナゲット検査器は完成したばかりである。まだまだデータ不足は否めない。今後も各種サンプルによる試験を多数行い、真に実用的な検査機器、使われる検査機器とするために、足りないところは改良を重ねていきたいと考えている。そのために、多くの方のご意見をいただければ幸いである。

また、開発したナゲット検査器は焼入れ判定器WT-4102の応用製品である。焼入れ判定器は焼入れ鋼材の焼入れ深さ測定を目的に開発した製品であり、直流電位差法を用いて鋼材の電気抵抗率変化を捉えることで焼入れ深さを簡易に測定できる。同様にスポット溶接の評価についても電気抵抗率の変化を捉え、ナゲット径を簡易に測定できる。そのほか、直流電位差法は亀裂深さ測定にも適用できるなど、直流電位差法を用いた非破壊検査機器として焼入れ判定器WT-4102の応用をこれからも提案していきたいと考える。

### 【筆者紹介】

岩田 成弘

電子磁気工業(株) 開発部 開発課 課長

<会社の主な事業内容>

経営理念として“世界に提供する安全と安心”を掲げ、非破壊検査機器の総合サプライヤーとして各種業界の品質検査に寄与している。磁気計測機器は豊富なラインアップを持ち、研究分野から生産分野まで広く愛されている。