

多探針電極を用いた表面電位測定法による スポット溶接品質の非破壊評価

埼玉工業大学 島本 聡*, 山下 恵太郎*, ○平野 健二*
電子磁気工業 岩田 成弘**, 井家 奈津子**

Nondestructive evaluation of spot welding quality
by surface potential measurement using multi-probe array

Akira SHIMAMOTO* Keitaro YAMASHITA*HIHAKAI* kenji HIRANO*
Masahiro IWATA**and Natsuko IKE**

The spot welding fixation strength is used to the fracture testing such as the tensile test and the peel test. There are many problems such as that judgment is difficult at the welding site, because these tests need a long time for specialty specimen and examination. We previously confirmed that the range of the welding (nugget diameter) can be presumed by using four-point probe method according to the half value width of the surface potential distribution in the measured spot weld, and we revealed that welding fixation strength can be obtained with nondestructive as a result. However, a traditional four-point probe method is unfit at the work site, as that requires a long measurement time. Thus, it is necessary to establish the multi-probe method which can efficiently measure with arranged few probe and switched electrical, for the practical use of the surface potential measurement nondestructive testing method of spot welding fixation strength. Then, in our research an appropriate measurement condition of the multi-probe method was examined. As a result, the possibility of practical use was obtained.

Keywords: Spot welding, Nondestructive test, Surface electric potential, Fixation strength, Four-point probe

1. 緒言

スポット溶接固定強度は引張りせん断試験や引き剥がしによるピールテストなどの破壊試験が用いられ、専用の試験片と検査に長時間を必要とし、スポット溶接現場に直結した判断が困難であるなどの問題が多い。先に著者らは、四探針法を用いて測定したスポット溶接部の表面電位分布の半値幅から溶着範囲(ナゲットの寸法)を推定し、非破壊的に溶接固定強度が得られることを明らかにした[1,2,3,4]。しかし、従来の四探針法の場合、多大な測定時間を要し、現場には不向きであった。したがって、スポット溶接固定強度の表面電位変化の測定による非破壊検査法の実用化には、多数の探針を配列して電氣的に切り替えて効率よく測定する多探針法の確立が必要である。そこで、本研究では多探針法の適切な測定条件について検討した結果、実用化の可能性が得られた。

2. 多探針電極の最適化の検討

多探針法の最適測定条件を明らかにするために Fig. 1 に示す 23 本の探針を 1 mm 間隔で直線状に配列した多探針ヘッドを作成して電流探針と電圧探針間の間隔 a と電圧探針間隔 b を変えて最適な 4 探針電極配列条件について検討した。その結果、探針電極間隔が広がると 23 本の探針では測定範囲が狭まるのに対して、探針電極間隔が a, b 共に 1 mm の場合は 20 mm の範囲まで測定でき、 $a=2$ mm, $b=3$ mm の場合は 16 mm に減少するが通常のスポット溶接の表面電位変化領域は十分カバーし得ることがわかる。ここで測定時の電流 I を 1 A とし 0.5 sec 通電した時の表面電位 V を測定して PC に取り込み電氣的に測定電極を逐次切り替えて表面電位分布と半値幅を自動的に求めるようにした。

* Advanced Science Laboratory, Saitama Institute of Technology, Saitama

** Development Dept. Development sec. Densijiki Industry Co. LTD., Tokyo

なお、探針電極間隔が $a=2\text{ mm}$ 、 $b=3\text{ mm}$ の場合の電極間隔を“2-3-2”とした。

2・1 被測定試料の板厚の影響

スポット溶接の表面電位変化量は板厚に依存し反比例的に減少することが明らかにされている。

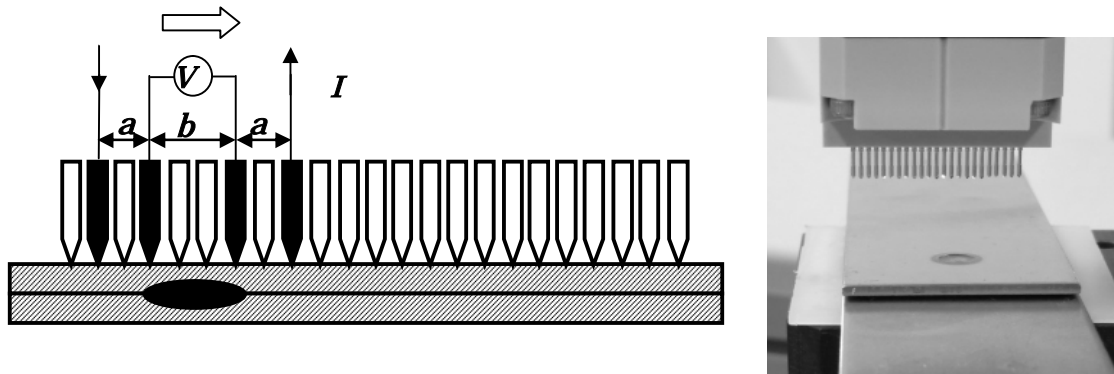


Fig. 1 23 point probe mulch array head system (2-3-2 Probe arrangement)

そこで、本研究では評価試料として用いた冷間圧延鋼板 (SPCC) を 0.5 mm から 3.2 mm まで変化させたときの表面電位変化を比較・検討した。その結果を Fig. 2 に示す。Fig. 2 からわかるように最も探針間隔が狭い 1-1-1 の配列の場合、検出感度が低下するのに対し、2-3-2 の配列の場合には最も適切であることが判った。また、どの探針電極配列においても試料の板厚が 2 mm 以上では板厚に対する変化量が低下し精度の良い測定は困難であることが判る。

2・2 標準試験片による評価

スポット溶接した凹凸のある測定試料表面に多数の探針電極が接触する多探針法では 4 探針法に比較して接触抵抗などの影響を受け、測定結果が変動しやすい傾向がある。そこで各探針電極が均一に測定試料表面と接触する多探針の場合の電極配列を精度よく評価するために Fig. 3 に示す標準試験片を作成した。この試験片はスポット溶接部の板厚変化をモデル化し、厚さ 2 mm の SPCC 材を幅 W ($W=1\sim 9\text{ mm}$) に方形部を残して 1 mm まで切削した。これは厚さ 1 mm の SPCC 材を 2 枚重ね合わせてスポット溶接した場合に等しい。

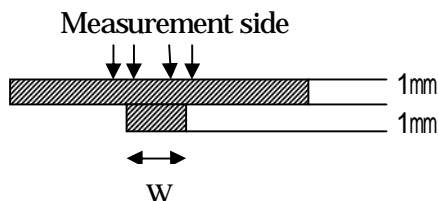


Fig. 3 Standard specimen for examination

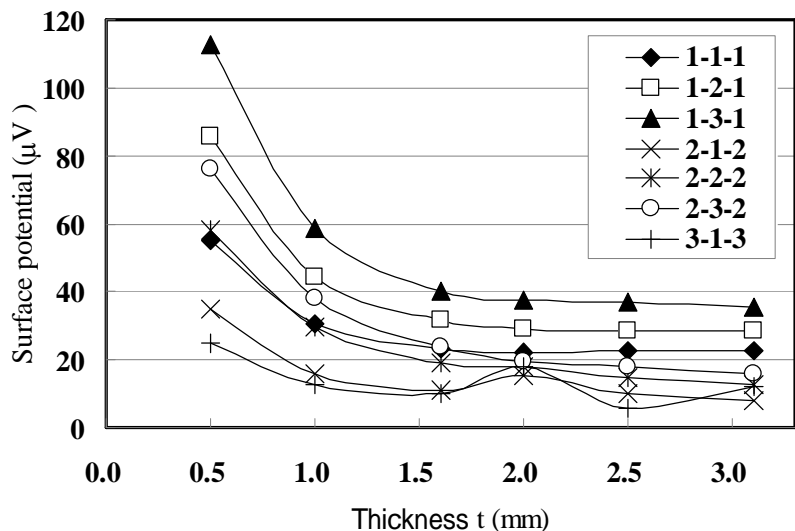


Fig. 2 Surface potential change by thickness of specimen

Fig. 4(a,b)からわかるように多探針測定法では多数の探針が被測定試料表面に接触しており個々の探針の接触電気抵抗のバラツキなどが測定結果に大きく影響を及ぼすことが考えられ、従来の 4 探針によるマニュアル測定では測定が可能であった 1-1-1 電

極値記列では測定値の変動が大きく電位分布の半値幅を求めることは困難であった。これに対し電極配列が2-3-2の場合、ナゲット径(W)が1.2 mmでも電位分布の変化が認められることが分かった。その結果をFig. 5に示す。Fig. 5からわかるように試験片の幅Wと表面電位分布の半値幅の関係はW=2.5 mm以上の場合は良好な相関関係が認められるのに対し、2 mm以下の場合は比例関係が認められない。以上の結果からナゲット径が2.5 mm以上では実用上の最適な探針間隔は2-3-2であることが確認できた。

3. 多探針法による表面電位分布と固定強度の実測

本研究では多探針法にける最適な探針電極間隔とスポット溶接試験片の溶接固定強度および表面電位分布を測定して、その半値幅より固定強度を非破壊的に求める方法について検討を行った。

3・1 試験片の作成

本実験に用いた供試材はSPCC材で長さ125 mm、幅40 mm、厚さtが0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.6, 3.2 mmの6種類である。それぞれ同一の厚さ2枚を40 mm重ね合わせてスポット溶接した。スポット溶接条件をTable 1に、試験片の寸法情報をFig. 6に示す。スポット溶接で形成されるナゲット径dは(1)式で示す上下限に近くなるように電極チップ径、溶接電流値、加圧力などを調節し、dを5~10 mmになるようにした。

$$d = (4 \sim 6)\sqrt{t} \quad (1)$$

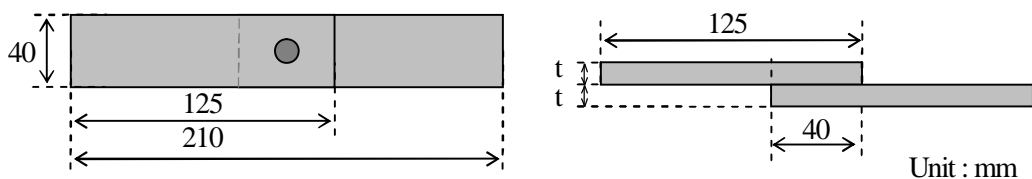


Fig. 6 Dimension of specimen

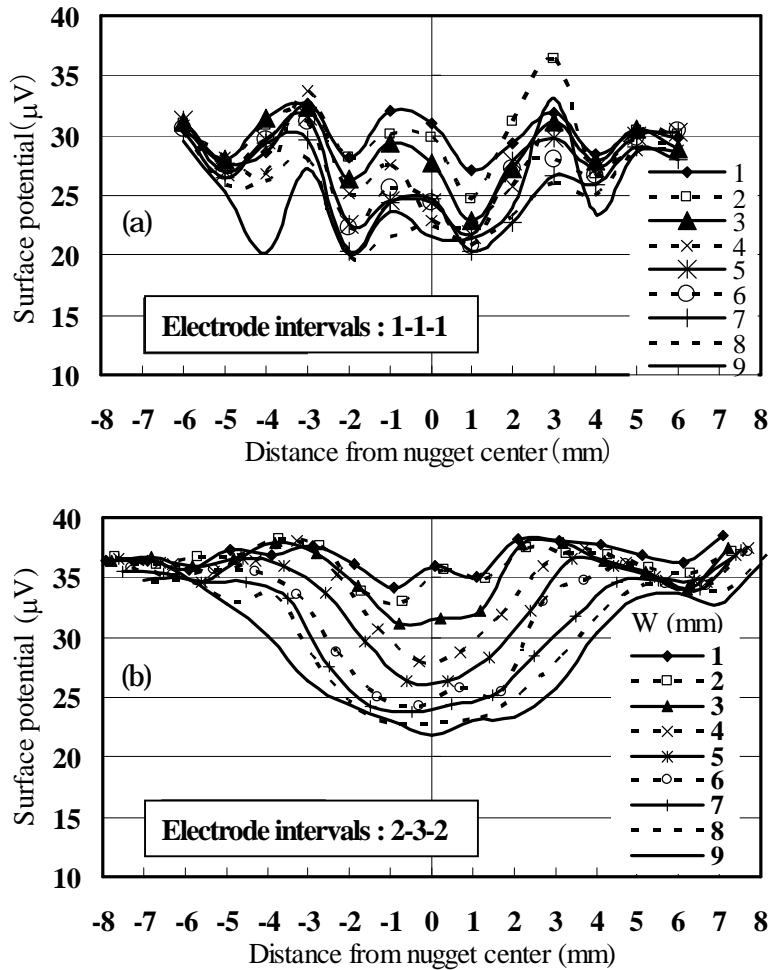


Fig. 4 Surface potential distribution of typical probe arrangement (1-1-1 and 2-3-2)

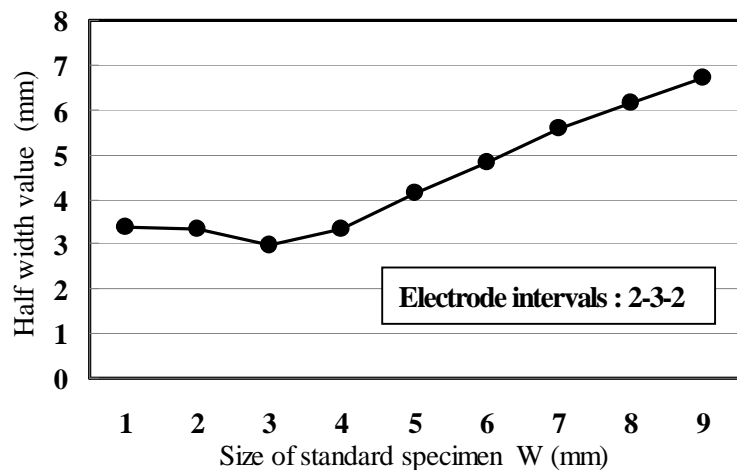


Fig. 5 Relation between W and half width value on 2-3-2 arrangement

Table 1 Spot welding condition of specimen

No	板厚 (mm)	電極径 (mm)	溶接電流 (KA)	通電時間 (cycle)	加圧力 (Kgf)
1	0.5	5	4.6	15	225
2	1.0	6	5.5	15	250
3	1.6	5	5.0	15	250
4	1.6	7	6.8	15	250
5	2.0	6	6.0	15	225
6	2.0	8.5	7.3	15	250
7	2.6	6	6.5	15	225
8	2.6	9	8.0	15	250
9	3.2	7	7.0	15	250
10	3.2	10	9.0	15	250

3・2 表面電位分布の測定

実際の試験片の場合、標準試験片と異なりスポット溶接部は溶接電極圧接によるクボミ、チリ、酸化膜などにより測定精度が低下し表面電位分布の測定値に影響を及ぼす。各試験片におけるナゲット部の表面電位分布を測定した。その結果の一例を Fig. 7 に示す。Fig. 7 からわかるように板厚が 2 mm 以下の場合では表面電位分布に十分な変化が見られ多探針電極による表面電位測定が有効であるのに対し、板厚が 2 mm 以上の場合にはナゲット部の表面電位の谷が認められるが、Fig. 2 の結果から板厚が増すと検出感度が低下し十分な結果が得られないことがわかる。また、多探針測定法では非常に測定効率がが高く、測定誤差の低減のために複数回の測定をし、平均化して用いるなどの改良が容易である。

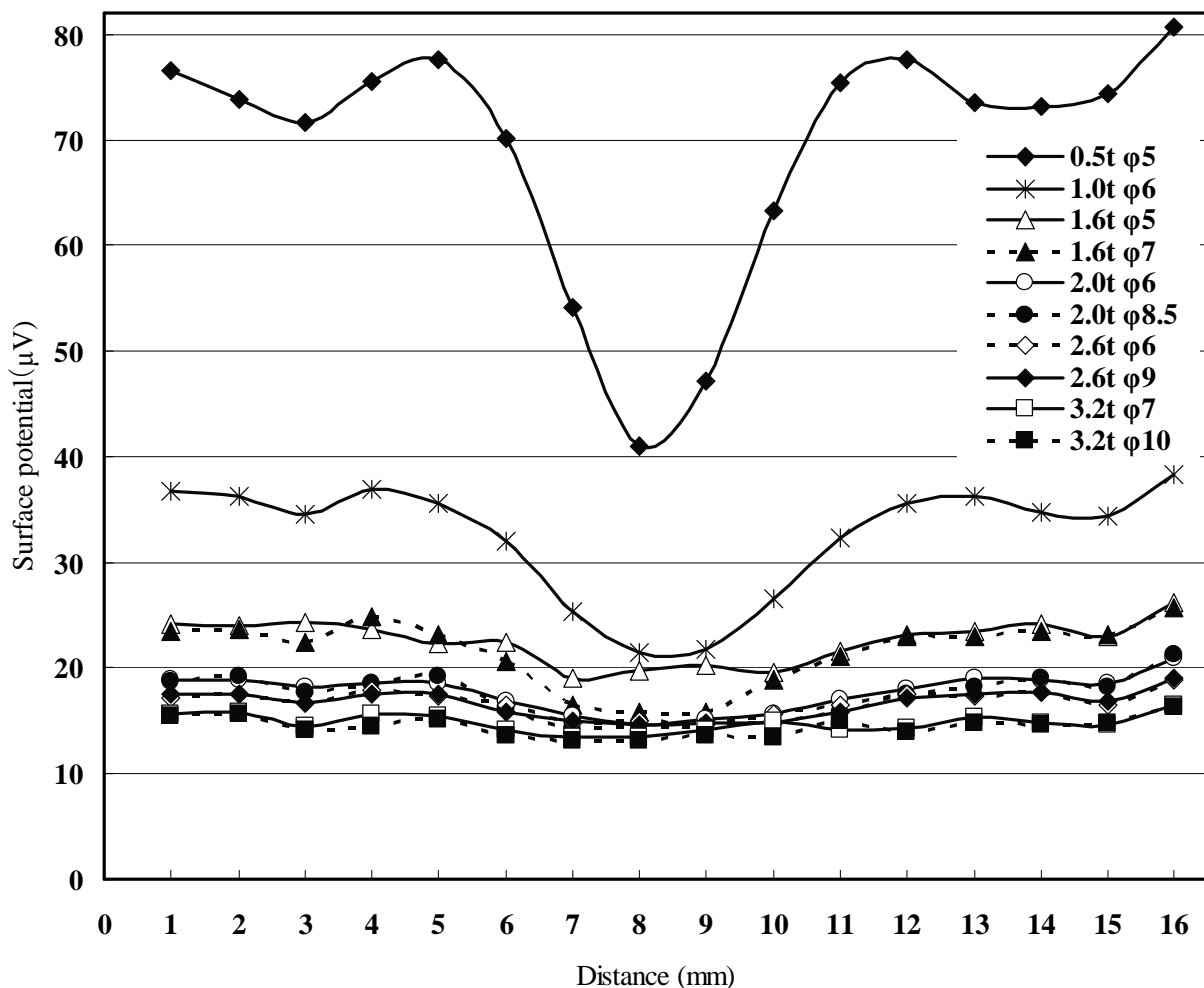


Fig. 7 Measured result of surface potential of specimen

3・3 溶接固定強度の測定とナゲット径の実測

スポット溶接部の固定強度を明らかにするために、Table1 に示す条件の試験片を用いて表面電位分布を測定した後に引張試験を行い、スポット溶接部の引張りせん断強さ F を評価しナゲット部の破面の観察とナゲット径 D を実測した。引張り試験の結果を Fig. 8 に、最大引張りせん断強さ F_{\max} とナゲット径 D の関係を Fig. 9 に示す。Fig. 9 からわかるように最大引張り強さ F_{\max} とナゲット径 D の間には良好な相関関係が認められ、(2) 式の近次式で示させる。

$$F_{\max} = 4.21D - 11.32 \quad (2)$$

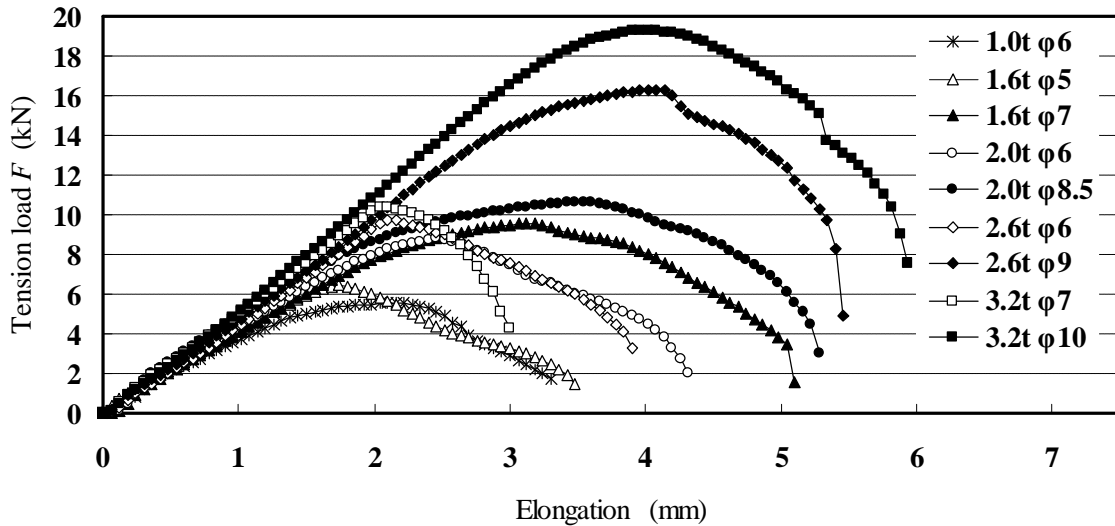


Fig. 8 Tensile test result of specimen

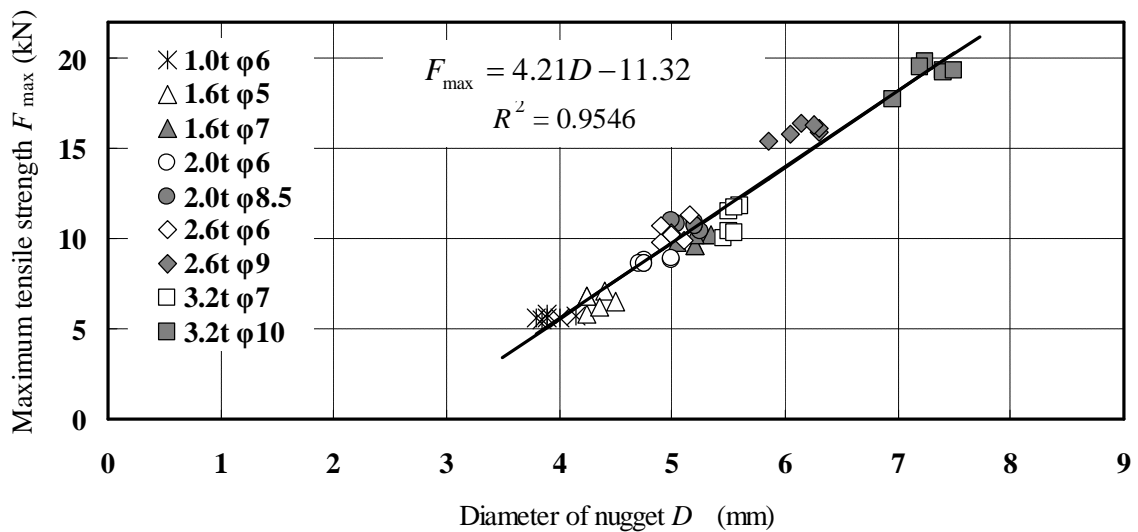


Fig. 9 Relation between nugget diameter D and maximum tensile strength

3・4 表面電位分布の半値幅によるスポット固定強度の推定

スポット溶接により形成されるナゲット部は試験片の厚さが部分的に増し、電路が増大し表面電気抵抗は減少する。したがってナゲット部の表面電位は低下し、谷を生じる。この表面電位分布の半値幅 (H_w : half width value) は形成されるナゲット径に対応する。ただし、板厚が2 mm 以上になるとナゲット部の表面電位変化は減少し表面電位分布の半値幅の値からは求められない。

そこで板厚2 mm 以下の試験片における表面電位半値幅 H_w と最大引張せん断強さ F_{\max} の関係を Fig. 10 示す。Fig. 10 からわかるように板厚2 mm 以下の場合には表面電位分布の半値幅と最大引張りせん断強さ F_{\max} には良好な相関関係が認められ、(3) 式の近似式で示される。

$$F_{\max} = 4.16D - 10.92 \quad (3)$$

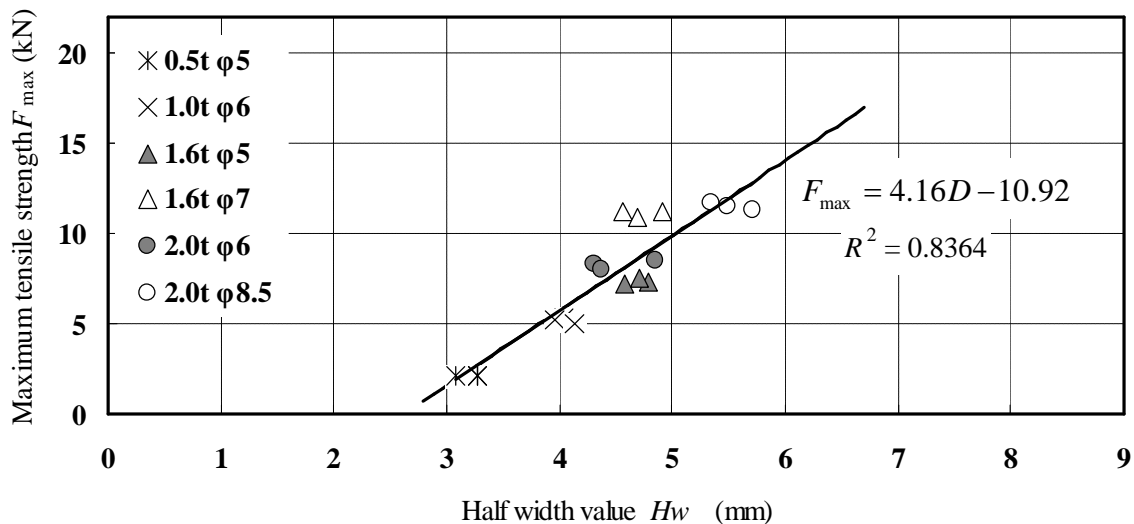


Fig. 10 Relation between half width value of surface potential and maximum tensile strength

Fig. 10 は、試験片の厚さが 3.2 mm まで適用できるナゲット径の実測値と最大引張せん断強さの関係(Fig. 9 参照)と比較しデータ数が若干減少するが(2)式と(3)式の近次式は良好な対応をしていることがわかる。このことから、厚さ 2 mm 以下のスポット溶接の場合、多探針電極ヘッドを用いてナゲット部の表面電位分布の半値幅を効率的に測定することにより溶着固定強度(最大引張せん断強さ)を非破壊的に推定できる。

4. 結言

多探針電極を用いて、スポット溶接部の表面電位分布の測定方法を検討し溶接の固定強度を非破壊的に求める方法について検討した結果、次の知見が得られた。

- (1) 多探針法に適した探針電極間寸法は電流探針と電圧探針間距離 $a=2$ mm、電圧探針間距離 $b=3$ mm の仕様は 2-3-2 である。
- (2) 多探針の測定ヘッドを用い最適な探針電極間隔で測定位置を電氣的に切り替えて移動させることにより数秒でスポット溶接部の表面電位分布を測定し半値幅を求めることができた。
- (3) スポット溶接部における表面電位分布の半値幅からスポット溶接で形成されたナゲット径を求めることができる。
- (5) 非破壊的に求めたナゲット径からスポット溶接部の固定強さ(引張りせん断強さ)を求めることができる。
- (6) 多探針電極法の最適な適用範囲は SPPC 材では最大 2 mm 厚さである。

参考文献

- [1] 島本聡, 山下恵太郎, 神尾嘉太, 赤松里志, 岩田成弘: 表面電気抵抗測定によるスポット溶接の品質評価, 第 39 回 応力・ひずみ測定と強度評価シンポジウム講演論文集, 137-142(2008)
- [2] 島本聡, 山下恵太郎, 井上博文, 赤松里志, 岩田成弘: 亜鉛メッキ鋼板におけるスポット溶接固定強度の表面電気抵抗測定による非破壊検査法, 第 40 回 応力・ひずみ測定と強度評価シンポジウム講演論文集, 59-64(2009)
- [3] 島本聡, 山下恵太郎, 大橋真也, 岩田成弘, 加藤奈津子: 表面電気抵抗測定によるスポット溶接品質の非破壊評価, 第 42 回 応力・ひずみ測定と強度評価シンポジウム講演論文集, 207-212(2011)
- [4] 島本聡, 山下恵太郎, 岩田成弘, 加藤奈津子: 表面電気抵抗法によるスポット溶接の品質評価, 検査技術, 6-11(2011)