

音響計測によるスポット溶接の 溶接径の推定に関する研究

Study on the estimation of the welding diameter of the spot welding by
acoustic measurement

中川 裕¹・杉本 恒美¹・田中 幹人²

¹ 桐蔭横浜大学 大学院工学研究科、² テクノシステム株式会社

(2017年3月18日 受理)

I. はじめに

近年、自動車や電車等の製造はオートメーション化が進んでいる。その背景には海外における人件費の高騰や少子高齢化により製造業に携わる人材の不足等がある。そのため、製造ラインをオートメーション化する事により、人件費を抑えるとともに製品の品質の均一化を期待している。自動車や電車のボディを製造する際にはスポット溶接と呼ばれる溶接方法が使われている。スポット溶接は複数枚の金属板を電極で加圧しながら大電流を流す事で生じる抵抗発熱により、局部的に溶融させて溶接する。この溶接方法は短時間で溶接が出来る事や、電極で加圧しながら行うため金属板間にわずかな隙間がある場合でも溶接が可能である。このような特徴を持つため、上記で述べたようなオートメーション化された製造ラインでも使われている。しかしながら、スポット溶接には溶接の良否判定に課題を抱えている。現在、スポット溶接の良否を判定する検査手法は破壊検査が主流である。

溶接した金属板をはがしナゲット径計測するため、全数検査は行っていない。破壊検査以外には接触式の超音波を使用した方法や加熱した後の温度変化を測定する方法がある。これらの手法は接触条件や加熱に使用するランプの消耗・交換等の問題がある。

そこで、我々は空中放射音波とレーザドップラ振動計を用いて非接触かつ非破壊的にスポット溶接の溶接部径の良否判定が行えるか研究している。非接触かつ非破壊的に測定を行う事で製品を破壊する事なく全数検査が行える可能性がある。

II. 音響計測によるスポット溶接の 溶接径の推定実験

1. 測定原理

Fig.1に測定概略図を示す。測定対象となるスポット溶接された金属板の上方に音源とレーザドップラ振動計を設置する。音源から測定対象に向けて音波を照射し、金属板を共振させる。その時に生じる測定対象の表面の

¹ NAKAGAWA Yutaka and SUGIMOTO Tsuneyoshi : Graduate School of Engineering, Toin University of Yokohama, 1614 Kurogane-cho, Aoba-ku, Yokohama 225-85032, Japan

² TANAKA Mikito : Techno Systems, Inc. 28 Tonowari, Jinnoshinden-cho, Toyohashi-shi, Aichi 441-8077, Japan

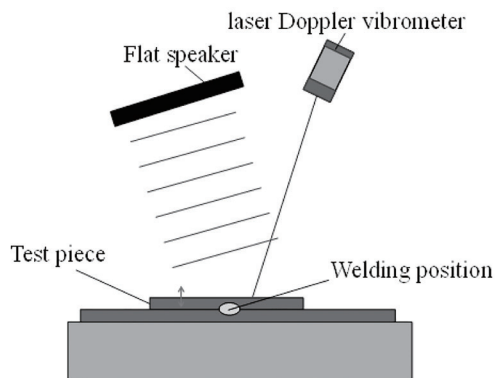


Fig.1 Measurement concept

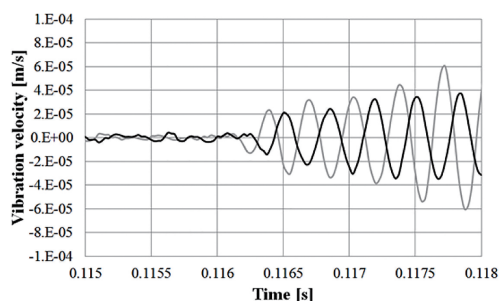


Fig.2 Example of vibration waveform
Black line: Welding position,
Gray line: Non welding position

振動の振動速度をレーザドップラ振動計を用いて測定する。金属板の共振周波数は金属の材質や板厚、振動させる辺長等から推測できるため、共振周波数を含む音波を照射する。共振周波数で測定対象を振動させる事はこの測定方法において重要なポイントである。

次に上記の測定方法において測定される溶接部上と非溶接部上の振動速度波形例を Fig.2 に示す。Fig. 2 より非溶接部が振動した後に溶接部が振動し始める事がわかる。このように溶接部上と非溶接部上の振動には時間遅れ（位相差）があり、位相差から溶接部の径を推定する。

位相差の算出は以下通りである。まず、振動測定により取得した時間波形をフーリエ変換を行う過程で得られる実部と虚部から各周波数の位相を算出する。その後、任意の測定点の位相データをリファレンスとし、他の測定点の位相との差を計算し位相差を算出する。

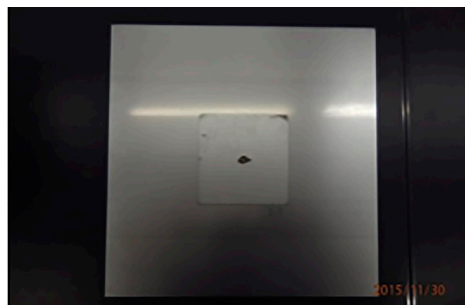


Photo 1 Test piece
(Upper plate size is 100 × 100 × 1.2 mm³,
Lower plate size is 300 × 300 × 2.3 mm³)

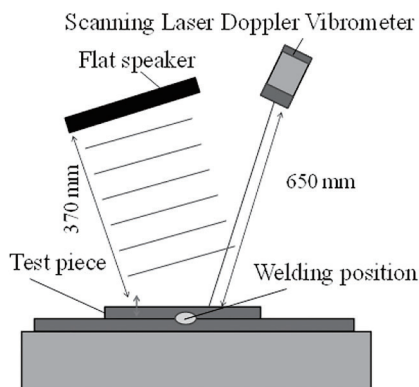


Fig.3 Experimental setup

位相差の計算式を式 (1) に示す。

$$\text{Phase } [\theta] = \text{atan} \left(\frac{VS_{\text{imag}}}{VS_{\text{real}}} \right) \dots\dots (1)$$

2. 実験セットアップ

Photo 1 に測定対象のスポット溶接された金属板を示す。金属の材質は SPCE 材 (Steel Plate Cold deep drawn Extra : 冷間圧延鋼板) を使用した。また供試体の上板と下板のサイズはそれぞれ 100 × 100 × 1.2mm³ と 300 × 300 × 2.3mm³ である。上板と下板のサイズの違いは上板の振動を測定する際に下板の振動の影響を少なくする為に、質量が重くなるように下板を大きくした。また、溶接部径の異なる試験体も用意した。溶接部径の種類は 4mm、5mm、6mm である。

Fig.3 に実験セットアップを示す。試験体の上方に音源とレーザドップラ振動計を設置した。音源は平面スピーカー (FPS INC,

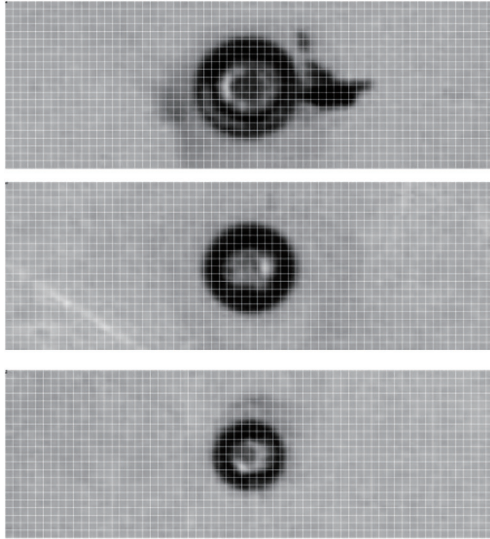


Fig.4 Scan area

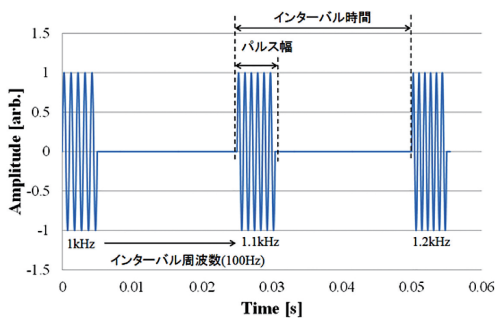


Fig.5 Example of waveform used for vibration measurement

FPS2030M3P1R) を使用し、レーザドップラ振動計はSLDV (Polytec Corp, PSV400-H4) を使用した。SLDV はセンサヘッドに搭載されたガルバノミラーによりレーザー光を曲げ、測定開始前に設定した複数の測定点の振動速度を順番に自動測定する事が出来る。音源およびSLDVの供試体間の距離はそれぞれ370mmと650mmである。

Fig.4 にスキャンエリアを示す。スキャンエリアは 23×65 points、測定点間隔は縦横0.57mm である。

また、この測定で使用した音波はトーンバースト波である。Fig.5 に送信波形例を示す。

トーンバースト波は単一周波数のバースト波を一定時間間隔に照射し、照射するバース

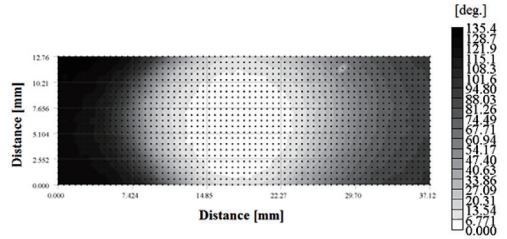


Fig.6 Phase difference distribution of weld diameter 6 mm

ト波の周波数は一定の法則で変化させている。この波形はコンクリートの欠陥探査のために開発された波形である¹⁾。高音圧で検査対象を励振するため、レーザドップラ振動計は音源から直接あるいは検査対象からの反射した音波により振動し、測定結果のノイズレベルが増加してしまう。そのため、レーザヘッドが振動していない時間帯のデータに送信した音波の周波数帯の周波数フィルターを用いて、ノイズレベルの増加を抑制する目的でトーンバースト波は考案された。今回は測定対象と音源およびレーザドップラ振動計との距離が近い為、時間的な分離は出来ないが単一周波数の音波で共振している現象を観測する事とデータ処理の簡略化のためにトーンバースト波を使用した。トーンバースト波のパラメータを以下の通りである。パルス持続時間3ms、インターバル時間20ms、周波数帯域2kHz-5kHz、インターバル周波数200Hz、周期345msである。振動計測の加算平均回数は10回とした。

3. 実験結果

Fig.6 に溶接部径6mmの位相差分布図を示す。位相差算出のリファレンスデータは溶接部中心付近の測定点のデータとした。

Fig.6 より溶接部上付近は位相差が小さく、溶接部から離れる程位相差大きくなる事が確認できる。次に、Fig.7 に溶接部径4mm、5mm、6mmの位相差分布図を示す。また、位相差分布図の表示スケールは溶接部付近の位相差の変化を見やすくするために $0 \sim 10^\circ$ とした。Fig.7 より溶接部径に従って位相差

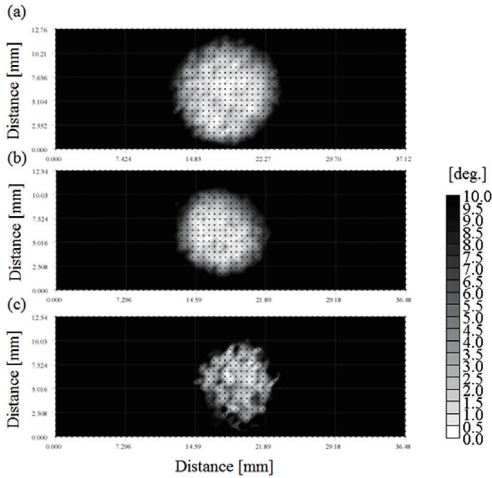


Fig.7 Phase difference distribution of weld diameter 4 mm, 5 mm and 6 mm
 (a) Weld diameter 6mm, frequency 3.2kHz,
 (b) Weld diameter 5mm, frequency 3.2kHz,
 (c) Weld diameter 4mm, frequency 3.4kHz.

が小さい面積が変化する事が分かる。溶接部径 4mm の溶接部上の位相差がばらつく要因として溶接強度の違いが想定される。溶接部径 5mm と 6mm は金属板を剥がす事が難しく、金属をねじ切る等して溶接部を確認する事が出来る。しかしながら、溶接部径 4mm は金属板の間にマイナスドライバーを挿し込むだけで剥がせる溶接強度であった。つまり、溶接部径 4mm は小さな面積で部分的に溶着しているために位相差の値がばらついたと考察する。

Ⅲ. まとめと今後の課題

今回、音波とレーザードップラ振動計を用いてスポット溶接の溶接部径の推定を行った。その結果、溶接部上と非溶接上の振動の時間波形には位相差が生じている事を確認した。また、溶接部上の位相差は小さく、溶接部から離れる程位相差が大きくなっていた。溶接部径 4mm、5mm、6mm の試験体を測定した結果、溶接部上と思われる位相差が小さい面積が溶接部径に従って変化する事が確認さ

れた。この結果から位相差を用いて溶接部径を推定できる可能性が示された。

今後は、溶接部径の推定精度や複数点溶接されている場合に同様の測定結果が得られるか検討する予定である。

謝辞

本研究は平成 27-28 年度の豊橋市イノベーション創出支援事業の助成をうけて行われたものである。

【参考文献】

- 1) R.Akamatsu, T.Sugimoto, N.Utagawa and K.Katakura : *Proc.IEEE IUS 2013*, pp.1303-1306, 2013