

回転一様渦電流プローブによる溶接線検知に関する研究

日大生産工(院) ○今城 拓也 小野寺 大介 宇野 雄輝 坂本 翔平
日大生産工 小山 潔

1. はじめに

石油備蓄タンクやガスホルダーなどの構造物では、安全性を確保する目的で溶接部に超音波などを利用した非破壊試験法による保守検査が行われている。従来の非破壊試験法による保守検査では検査対象物の表面に施されている防錆のための塗装を剥がしてから検査を行い、検査終了後に再度塗装を施すために検査に手間と時間を要するという問題点がある。そのため、近年では塗装を剥がさずに塗装の上から保守検査を行える方法が望まれている。

溶接部の検査において、溶接線を検知しながら検査を行うことで効率の向上が考えられる。溶接線を塗装上から検知する方法として電磁誘導による非接触で導体内に渦電流を誘導するプローブを用いる渦電流法がある。従来のパンケーキ状の円形コイルの渦電流プローブでは、プローブと導体の相対距離が塗装などの厚みによって変化すると検出信号が変化し、溶接線の検出が困難である。これに対し回転一様渦電流プローブは塗装の厚みの変化による検出信号への影響が小さいので安定した溶接線の検出を行うことができる。本報告では、回転一様渦電流プローブを用いた溶接線の基礎的な検出実験の結果について報告する。

2. 溶接線検知原理

2.1 回転一様渦電流プローブの構造

回転一様渦電流プローブは、Fig. 1 に示すように矩形に巻いた縦置きのコイルを十字に組み合わせた2つの励磁コイルとその中心下に配置したパンケーキ状の円形の検出コイルから構成される。

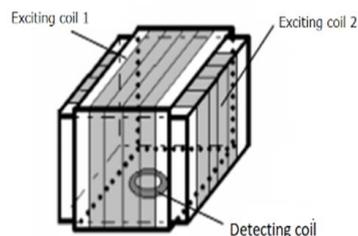


Fig.1 回転一様渦電流プローブの構造

2.2 溶接線の位置検知

回転一様渦電流プローブでは2つの励磁コイルに互いに90度位相の異なる交流電流を流すと回転磁界が発生し、導体内には回転渦電流が誘導される。誘導される回転渦電流を溶接線に垂直な成分と平行な成分に分けて考える。Fig.2に示すように溶接線に回転渦電流が垂直な場合には、円形コイルの中心を通り溶接線に垂直な軸に対して左右で渦電流が対称であり、検出コイルの起電力を互いに打ち消し合うのでプローブの位置にかかわらず検出コイルに起電力は発生しない。

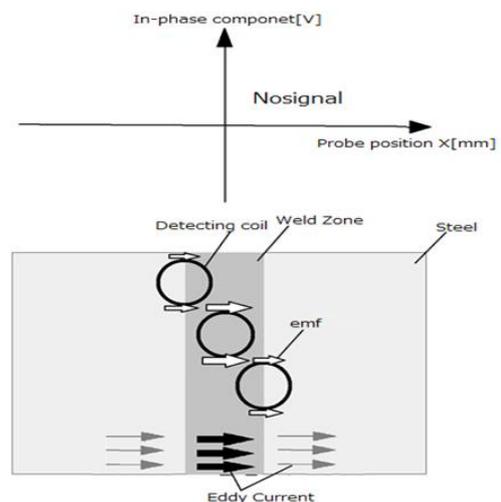


Fig.2 渦電流と溶接線が垂直の場合

一方、Fig.3に示すように溶接線に回転渦電流が平行な場合にはプローブが溶接線の端部に位置すると、円形コイルの中心を通り溶接線に平行な軸に対して左右で渦電流が異なるので起電力が発生し、溶接線に対するプローブの位置に対応した正負の符号が異なる信号を得ることができる。また、プローブが溶接部の中央に位置すると、円形の検出コイルの中心を通り溶接線に平行な軸に対して左右で渦電流が対称となるため起電力は発生せず、信号値は零値を示す。この信号の振幅と極性に基づいて、溶接線追従機構を制御して溶接線の追従を行う。

Study on weld line detection with rotating uniform eddy current probe

Takuya IMAJO, Daisuke ONODERA, Yuki UNO, Shohei SAKAMOTO and Kiyoshi KOYAMA

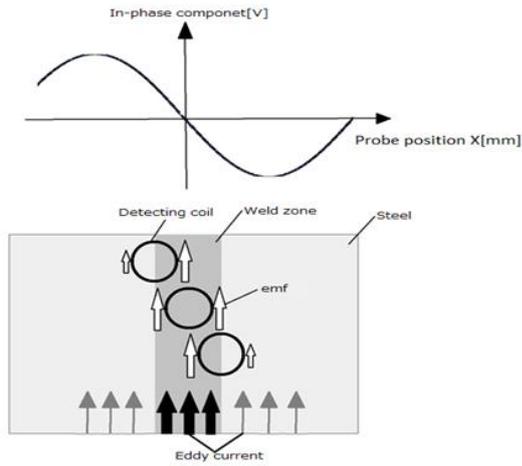
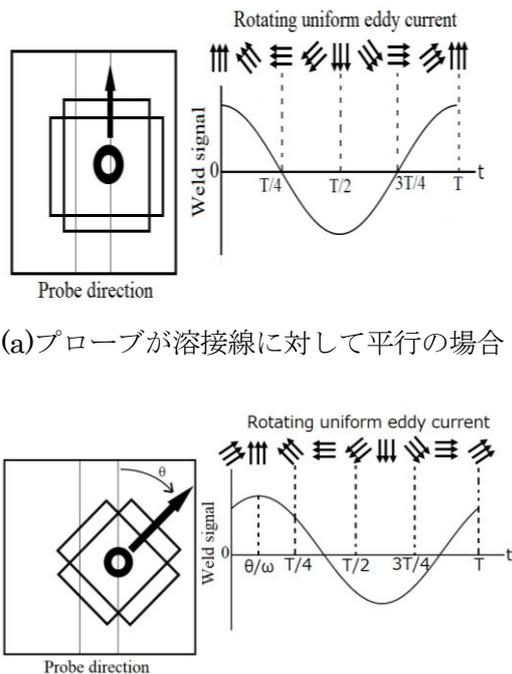


Fig.3 渦電流と溶接線が平行の場合

2.3 溶接線の方向検知

溶接線の位置検知の原理より回転渦電流の向きが溶接線と平行な場合にFig.4(a)に示すように $t=0$ で溶接線の信号を得る。

一方、Fig.4(b)に示すようにプローブが溶接線に対して角度 θ だけ傾いた場合、溶接線とプローブが平行な場合と比べて $t=\theta/\omega$ で溶接線の信号を得るため、信号の位相が θ/ω 分遅れることになる。以上より、信号の位相角から溶接線に対するプローブの方向もしくはプローブに対する溶接線の方向を検知することができる。



(a) プローブが溶接線に対して平行の場合

(b) プローブが溶接線に対して θ 傾いた場合

Fig.4 プローブの傾きと信号位相

2.4 溶接線の追従方法

回転一様渦電流プローブは、溶接線の中央部位置で信号値は零値を示し、溶接線に対するプローブの向き、あるいは溶接線の方に対応して信号の位相が変化する。プローブが溶接線の中央部位置より移動した場合や溶接線に対する向きが変化した、もしくは溶接線の方角が変化した場合に、回転一様渦電流プローブの信号が変化するので、信号変化に応じて追従装置の制御を行って溶接線追従可能と考える。プローブの信号値が常に零値を示すように追従装置を制御し、溶接線に対する向きが変化した場合は信号の位相角が変化するため、信号の位相角に応じて追従装置の向きを修正し、その後信号値が零値となるように追従装置を制御すれば、追従装置は溶接線を追従することが出来る。

3. 実験方法

3.1. 実験条件

Fig.5に実験構成図を示す。実験に用いた回転一様渦電流プローブの励磁コイルは、幅30mm、長さ30mm、交差面積 900mm^2 、単層巻きで、検出コイルは外径6mm、巻線断面積 $4 \times 4\text{mm}^2$ 、厚み1mm、巻き数100回である。試験体には、中央に幅約10mmで溶接された一辺の長さが約160mm、厚み5mmの鋼板で、溶接部の余盛りは研磨したものを用いた。回転一様渦電流プローブに印加する交流電圧は振幅3V、周波数10kHz、位相差 90° の正弦波を印加した。プローブと溶接線が直交する形で走査を行った。

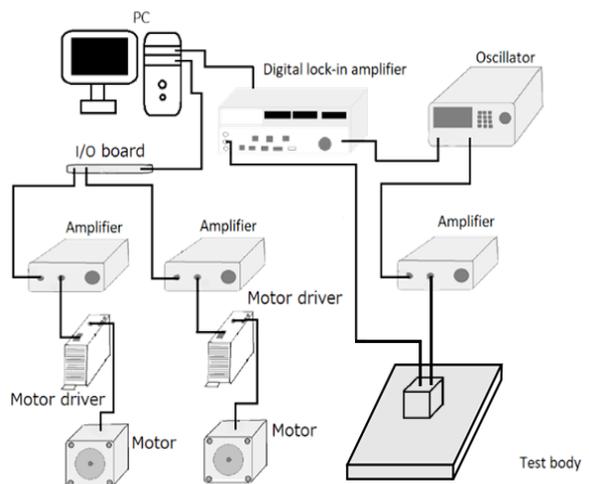


Fig.5 実験構成図

3.2. 溶接線追従実験

Fig.6に溶接線追従機構を示す。溶接線追従機構は1辺が400mmのアルミ板にモータドライバとステッピングモータを取り付け、機構の前輪はΦ80mm、厚み20mm、後輪にはΦ60mm、厚み20mmの車輪を使用した。また機構に搭載したモータドライバやステッピングモータの重量で機体に変形しないようアルミ板に上部側に40mm、下部側に20mmのステンレスL字金具を取り付けた。プローブ取り付けのため機体の進行方向側に一辺が55mmの正形状にアルミ板をくり抜いた。溶接線検知実験の結果を基に溶接線追従機構のモータの駆動制御を行った。定格 DC 1.43Vのステッピングモータを使用し、モータドライバは電源電圧100V 入力信号電圧 DC 5Vのものを使用した。追従のプログラムのフローチャートをFig.7に示す。最初の分岐で信号値の振幅から溶接線に対するプローブの位置、2つ目の分岐では信号の位相角から溶接線に対するプローブの角度を判定する。3つ目と4つ目の分岐では信号の進相成分の正負の判定を行い、正であれば右に曲がり、負であれば左に曲がるようにモーターに信号を出力する。追従範囲で以上の処理が繰り返される。

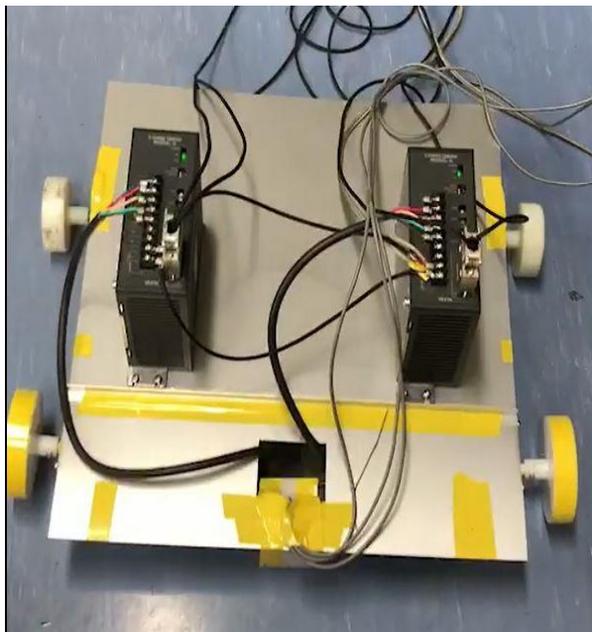


Fig.6 溶接線追従機構

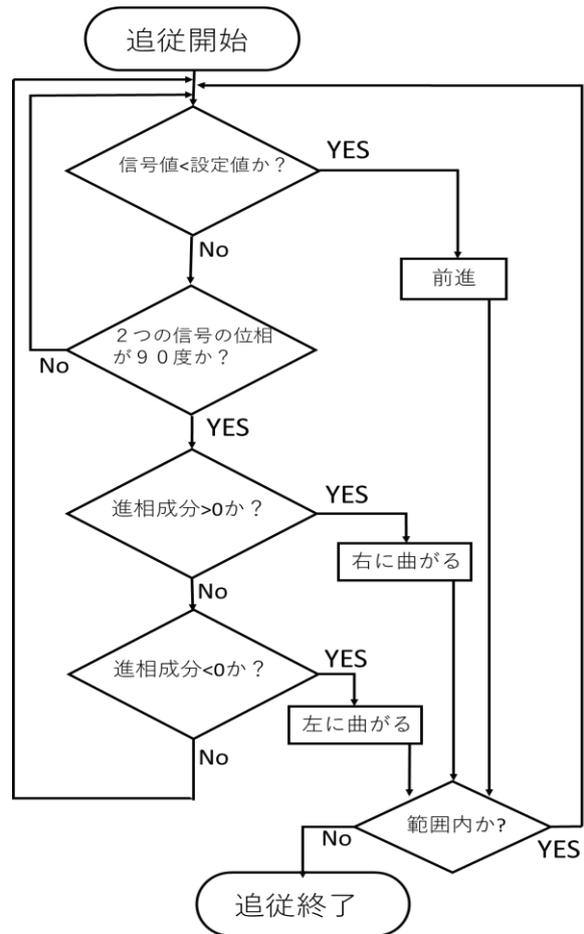
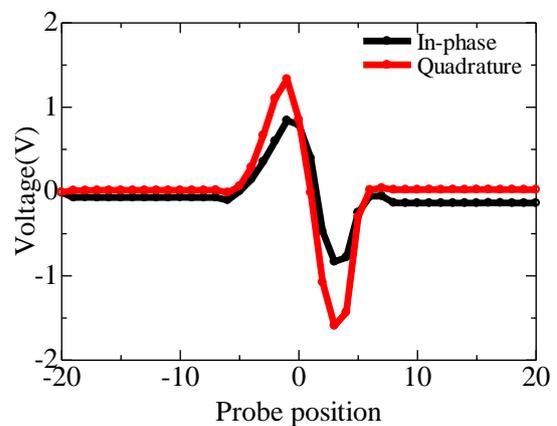


Fig.7 追従プログラムのフローチャート

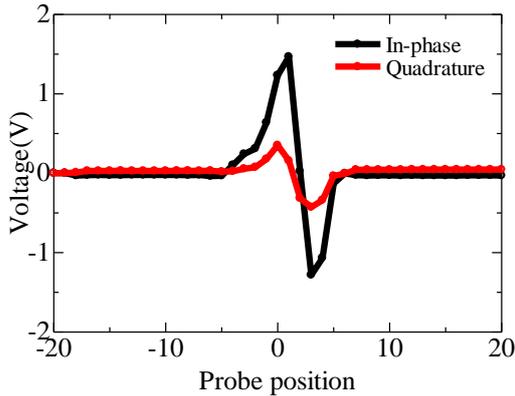
4. 実験結果

4.1. 溶接線検知実験

溶接線に対してプローブを垂直方向へ走査させたときの検出コイルの信号値をFig.8及びFig.9に示す。検出コイルの起電力は、励磁電流に対して同相成分 (In-phase component) と90度進相成分 (Quadrature component) の複素信号である。



(a) プローブ角度0度



(b) プローブ角度45度

Fig.8 プローブの検出信号 (位置検知)

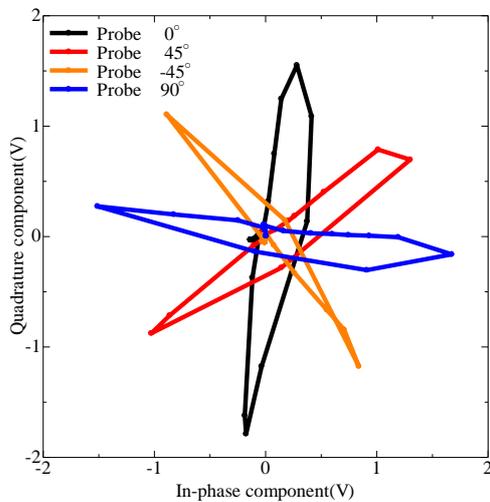


Fig.9 プローブの検出信号 (方向検知)

Fig.8は溶接線に対するプローブの位置とプローブの起電力を示すもので、横軸はプローブ位置、縦軸は起電力の大きさである。Fig.8を見るとプローブのどの角度でもプローブ位置が0付近で同相成分と進相成分の正負の反転が発生している。また、プローブが溶接線に対し傾くことによって同相成分と進相成分の電圧の大きさが変化している。さらに、どの角度のプローブでも信号の最大振幅は1.5[V]程度であった。

Fig.9は横軸に検出コイルの同相成分、縦軸に進相成分をとり、信号のパターンを示す。Fig.9を見ると同相成分と進相成分がともに0の値をとる位置でプローブの信号が重なっている。また、縦軸を基準にプローブ方向が0度の場合には信号の位相角は0度、プローブ方向が45度の時には45度といったように信号の位相角とプローブの向きが対応している。

4.2. 溶接線追従実験

Fig.5のフローチャートに基づくプログラムにおいてFig.8の結果より信号の振幅が1.5[V]程度であったことから設定値を1Vとして設定した。上記の設定で追従実験を行い、溶接線に対するプローブの位置によって溶接線追従装置がプログラムの処理に従って動く結果を得ることができた。

5. まとめ

回転一様渦電流プローブを利用した溶接線検知の基礎的検討を行った。溶接線に対するプローブの位置を変化させた場合と溶接線に対するプローブの方向を変化させた場合の信号の変化について測定を行った。

プローブの溶接線に対する位置検知の信号において溶接線中央部上で同相成分と進相成分の正負の反転が発生し、プローブの溶接線に対する方向検知の信号が原点付近で重なる。以上の結果から、プローブの方向にかかわらず、溶接線信号の零値の重なりを観測することで、溶接線の中央部の検知ができるといえる。また、溶接線に対するプローブの方向に応じて信号値の位相角が変化することから、溶接線の方向もしくは溶接線に対するプローブの向きを検知することが出来ると言える。以上の結果を基に検知信号の大きさと極性および信号の位相角をもって信号値が常に零値を取るように溶接線追従装置の制御を行えば溶接線の追従は可能であるといえる。

今後の課題として実際の条件に近い環境での溶接線追従が可能かどうかの検討を考えている。今回の研究では試験体に施された溶接線に対して塗装はされていないもので溶接線追従の検証を行った。しかし、実際の試験対象物には防錆のための塗装が施されていることがあるため、防錆のための塗装が施された試験体でも今回の研究と同じように溶接線追従が行えるかの検討が必要だと考えられる。また、プローブの検出コイルの大きさの検討も考えている。今回の研究では、検出コイルは溶接線の幅と同じ大きさのものを使用した。検出コイルが溶接線の幅に対して小さい場合と大きい場合の信号を測定し、信号の振幅や位相角の違いを比較して、より精度の高い検出が可能か検討する予定である。