

プラスプローブによる溶接部の渦電流探傷試験に関する研究

日大生産工（院） 溝口 賢一
日大生産工 小山 潔・星川 洋

1.はじめに

溶接部表面の保守検査には、従来から浸透探傷試験や磁粉探傷試験が適用されているが、材料表面に塗られている防錆などの塗装を剥がしてから検査を行う必要があるため、検査に長時間を有する。このため、非接触で高速に探傷が可能な渦電流探傷試験を溶接部の検査に適用すれば、塗装を剥がすことなく短時間に検査が行える可能性がある。

渦電流探傷試験とは、コイルに交流電流を流したときに発生する磁束が試験体に作用すると、電磁誘導によって試験導体には渦電流が誘導され、きずによる渦電流の変化を起電力の変化としてコイルが信号を検出する試験法である。渦電流探傷試験は、平板金属の表面に沿ってコイルを走査させながら探傷を行うが、コイルと試験体との相対距離（リフトオフ）を一定に保ちながら探傷することは困難である。また、従来から渦電流探傷試験で使われている円形の上置コイルを、溶接部の表面検査に使用した場合、溶接部余盛りの凹凸によるリフトオフ変化や溶接部の電磁気特性の変化によって大きな雑音が発生するため、きず検出が困難である。

従って、渦電流探傷試験で溶接部の検査を行うには、リフトオフ雑音が小さい渦電流探傷プローブが必要である。リフトオフ雑音が小さい渦電流探傷プローブとして、プローブやプラスプローブ¹⁾などがある。これらのプローブを溶接部に適用して検査を行うことで、SN比の向上が期待できる。

今回はプラスプローブを使用し、溶接部止端に垂直なきず（横きず）、平行なきず（縦きず）を検出するための検討を行った。横きず、縦きずについて走査探傷を行った結果、同期検波による信号処理をすることで、溶接部止端による影響が少なくきず信号を明瞭に得られることを確認したので報告する。

2.プラスプローブによる溶接部の渦電流探傷

2.1 プラスプローブの構造

図1に示すようにプラスプローブは、矩形縦置き励磁コイルとその中心位置の両側に矩形縦置き2つの検出コイルを配置して構成される。励磁コイルは、巻線に平行な渦電流を誘導し、和動接続された検出コイルは、巻線に平行な渦電流成分を検出して信号を発生する。

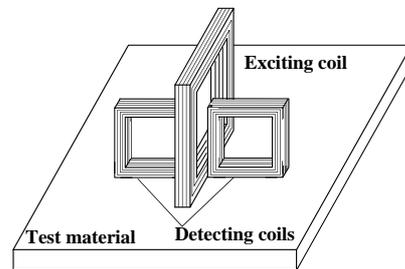


図1 プラスプローブの構造

2.2 プラスプローブの探傷原理

試験体にきずがない場合、図2(a)に示すように、渦電流は検出コイルに対して垂直方向に誘導されるので、検出コイルには信号は発生しない。リフトオフが変化しても、検出コイルの巻線方向には渦電流が誘導されないため、リフトオフ雑音は発生しない。

きずが試験体表面にある場合、同図(b)に示すように、渦電流の一部が検出コイルの巻線方向に流れるため、検出コイルは信号を発生する。また、検出コイルの中心線上にきずが位置したときには、きずの上下で渦電流の方向が逆のため、互いに打ち消し合い信号が発生しない。従って、励磁コイルがきずに対して垂直方向になるように走査する場合は、きず信号はきずの上下で極性の異なる信号を発生し、8字パターンを描く。このように、プラスプローブで探傷することで、リフトオフの影響を受けることなく、きずによる信号だけを検出することができる。

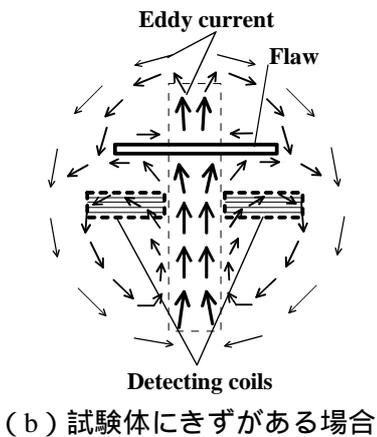
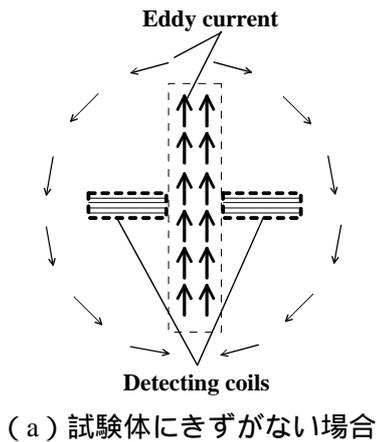


図2 試験体に誘導される渦電流

2.3 溶接部の渦電流探傷

溶接部を探傷する場合、プローブを溶接部の上に配置し、溶接方向に沿って走査探傷を行うのが一般的である。プラスプローブは、励磁コイルに直交で検出コイルと平行なきずに対して最も感度高く検出を行うことができる。このため、図3(a)のような溶接部の横きずを検出する場合、励磁コイルが溶接部と平行になるように溶接部中央にプローブを配置し、溶接方向に沿って探傷を行う。このときのきず信号は、8字パターンで得られる。しかし、溶接部の余盛り縞と検出コイルの巻線方向とが平行となるため、きずの有無にかかわらず信号が発生してしまい、これが溶接部雑音となりSN比の低下につながる。実験を重ねた結果、雑音ときず信号との位相が大きく異なることが確認できたため、同期検波による信号処理をすることで、SN比の向上が期待できる。

図3(b)のような溶接部における縦きずを検出する場合、励磁コイルが溶接部と直交す

るようにプローブを配置し、溶接方向に沿って走査することで検出が可能である。しかし、検出コイルは溶接部止端と平行になるため、検出コイルの巻線方向に誘導された渦電流の影響で溶接部雑音が発生してしまう。溶接部止端の影響を回避するため、検出コイルを溶接部止端から離して0~6の走査線上で探傷を行うことで、溶接部雑音が小さくなると考える。²⁾そして、きずと検出コイルが離れた状態で走査をすることで、1回の走査で検出コイルの上下にあるきずを検出できると考えられる。さらに同期検波を行うことで、SN比の向上も期待できる。

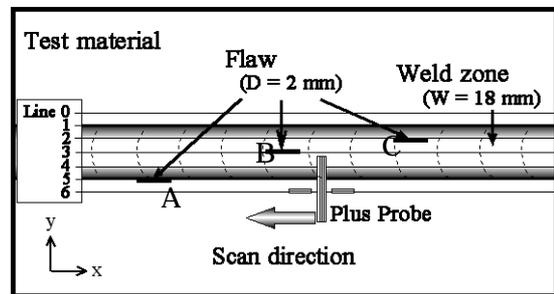
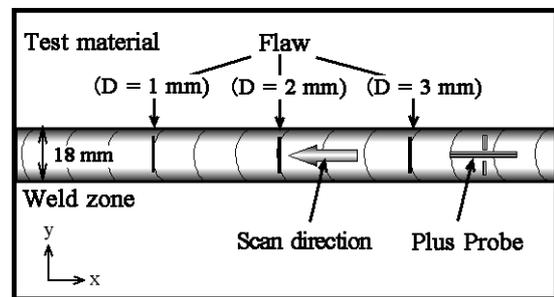


図3 各きずに対する探傷走査方法

3. 実験条件と実験方法

実験に使用したプラスプローブは、長さ19mm、高さ19mm、巻線断面積 $2 \times 2\text{mm}^2$ の矩形縦置き励磁コイルと、その中心位置の両側に、長さ7mm、高さ9mm、巻線断面積 $1 \times 1\text{mm}^2$ の矩形縦置き2つの検出コイルを配置して構成され、検出コイルの出力は和動接続されている。

2枚の試験材料は共に、縦200mm、横300mm、厚さ10mmのSS400炭素鋼材で、中央に幅18mm、余盛りの高さ2mmの突き合わせ溶接が施されている。溶接部中央には、長さ10mm、幅0.2mmのスリット状のきず

が放電加工してある。横きずの深さはそれぞれ 1mm、2mm、3mm であり、縦きずの深さはすべて 2mm である。材料全体に均一の塗装が施されていることを仮定しているため、母材部に厚さ 4mm のアクリル板を敷き、溶接部から 2mm のリフトオフがあるとして実験を行った。本研究では、試験周波数を 100kHz とした。

4. 実験結果

4.1 横きずの探傷

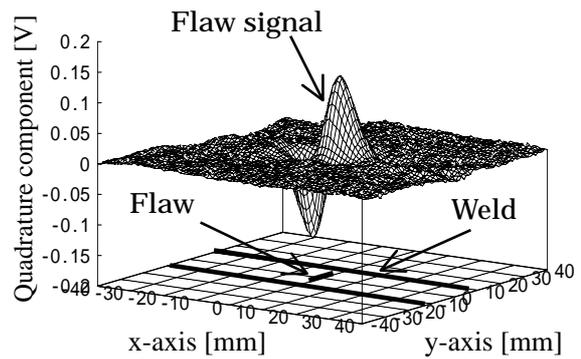
深さ 2mm の横きずを 2 次元探傷し、実数軸方向に雑音が出るように位相を調整（同期検波）を行ったときの虚数成分についての結果を図 4 (a) に示す。この結果から、検出コイルが溶接方向と直交するようにプラスプローブを配置することで、溶接部止端で発生する雑音が小さくなり、明瞭にきず検出が可能であることを確認した。同じきずについて、1 次元探傷したパターンを図 4 (b) に示す。雑音に比べ、きず信号がはっきりと検出されており、溶接部雑音は一定の位相であることが確認できる。

また、溶接部全体について 1 次元探傷し、同期検波したものを図 5 に示す。この結果から、1mm のきず深さであっても、SN 比が高くきず検出が可能であることを確認した。

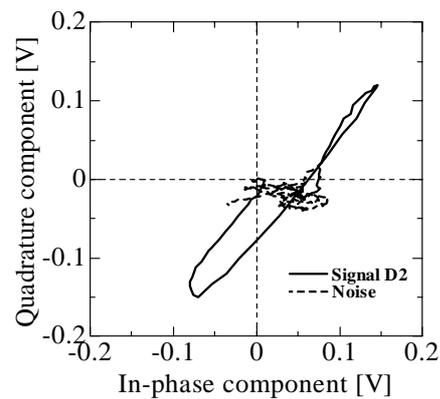
4.2 縦きずの探傷

深さ 2mm の溶接部止端の縦きず A を 2 次元探傷し、同期検波を行ったときの虚数成分についての結果を図 6 に示す。検出コイルを溶接方向に対して平行に配置しているため、2 次元探傷をすることで溶接部止端で大きな雑音が発生していることがわかる。しかし、溶接部から 10mm 程度離れた母材部でもきずによる影響が現れていることが確認できるため、きずから少し離れた母材部を走査することできず信号を得られることが確認できる。

そこで、検出コイルと溶接部との距離を変えながら、母材部側を走査したときの信号と雑音の最大振幅の変化を求めたものを図 7 に示す。図から、溶接部からプローブを 3mm 程度離して走査することで、信号が最も大きく得られ、溶接部に近いほど溶接部雑音が大きくなることわかる。SN 比を算出した結果、きずと検出コイルが 5mm 程度離れるように



(a) 探傷信号の 3 次元表示



(b) 探傷信号パターン

図 4 深さ 2mm の横きずに対する信号

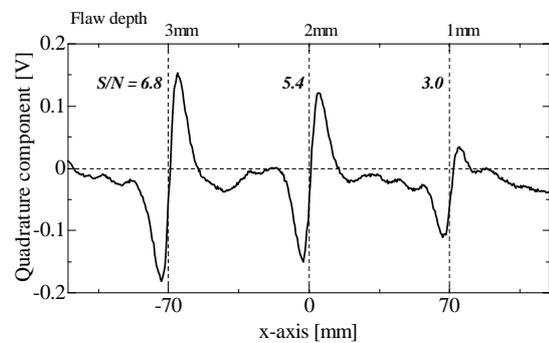


図 5 深さの異なる横きずに対する信号

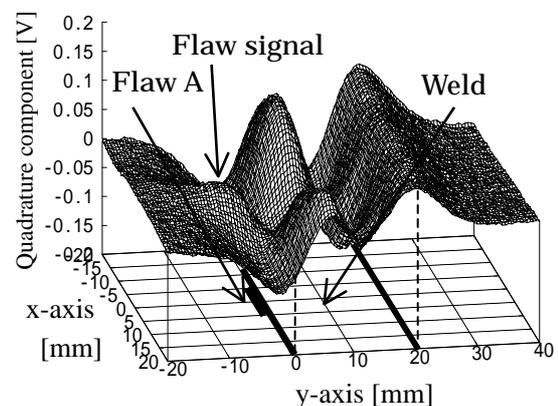


図 6 溶接部止端の縦きずの探傷信号

プローブを配置し走査すると、SN 比が最も高くなることがわかった。従って、溶接部内側にある縦きずの探傷も、きずと検出コイルを 5mm 程度離して走査することで、きず検出が可能であると考えられる。今回使用した材料は、溶接幅が約 18mm のため、4.5mm 間隔で 7 回の走査をすることで、縦きずを全て検出できると考えられる。

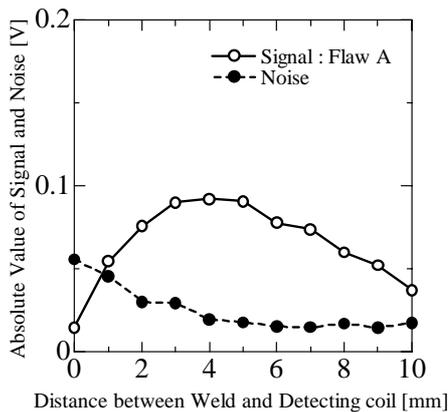


図7 探傷位置による最大振幅の変化

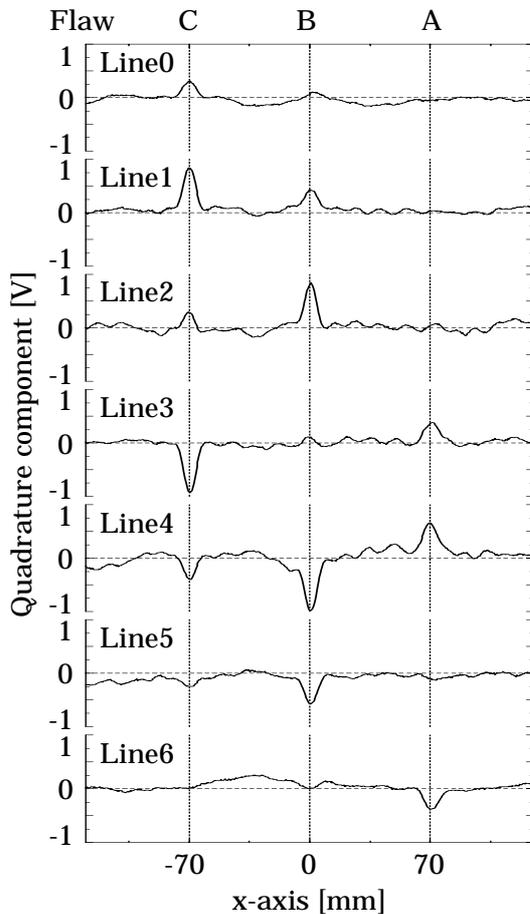


図8 溶接部内側の縦きずの探傷信号

溶接部内側のきず検出では、図3 (b)に示すように、走査線を Line0~6 までの 7 本とし、溶接方向に沿って走査をした。図8に、同期検波による信号処理を行ったときの虚数成分の探傷波形を示す。Line1 を走査することで、きず C の信号がはっきりと検出でき、Line2 を走査することで、溶接部中央のきず B が検出できた。Line3 を走査すると、Line1 と同様に、きず C がはっきりと検出できた。Line4 を走査すると Line2 と同様に、きず B が良く検出され、Line4 から 10mm 離れたきず C の信号も検出されている。Line6 では、Line4 と同様に溶接部止端のきず A の信号を検出できた。以上の結果から、きずから 4.5mm 程度離して複数回にわたって走査探傷をすることで、確実にきず検出が可能であることがわかった。また、Line0 の探傷範囲は Line2 でカバーでき、溶接部止端に位置する Line1 と Line5 による探傷範囲は Line3 のみでカバーできる。そして、Line6 の探傷範囲は Line4 でカバーできるため、実際は Line2, Line3, Line4 の 3 回の走査探傷によって溶接部内側の全ての縦きずを検出できると考えられる。

5.おわりに

プラスプローブを用いて溶接部に渦電流探傷試験を適用し、溶接部の内側にある横きずと縦きずの探傷実験を行った。横きずについては、励磁コイルが溶接方向と平行になるようにプローブを配置し、溶接部の上を走査することで、精度の高いきず検出ができることがわかった。また、縦きずについては、励磁コイルが溶接方向に直交するようにプローブを配置し、溶接部内部を 5mm 間隔で 3 回にわたって走査することで、溶接部の縦きずの精度の高い検出が可能であることがわかった。

参考文献

- 1) 星川、小山：きず深さの評価を目指したリフトオフ雑音の小さい渦流探傷上置プローブの提案、非破壊検査第53巻5号、pp.288-293. (2004)
- 2) 溝口、星川、小山：リフトオフ雑音の小さい新型プローブによる溶接部の渦流探傷試験について、保守検査シンポジウム講演論文集、pp.109-114. (2004).