

## 様式 C-19

# 科学研究費補助金研究成果報告書

平成 21 年 5 月 21 日現在

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2007～2008

課題番号：19760504

研究課題名（和文）MI センサと磁気補助材を用いた残留法による溶接部きずの定量的評価システムの開発

研究課題名（英文） Development of the quantitative evaluation system of flaws in weld zones by residual method with the MI sensor and the magnetic supporting plate.

研究代表者 笠井 尚哉(KASAI NAOYA)

国立大学法人横浜国立大学・大学院環境情報研究院・准教授

研究者番号：20361868

研究成果の概要：

本研究では、石油タンク底板溶接部に塗膜を剥離することなく適用可能な検査手法として、高感度な MI センサを用いた残留法による漏洩磁束探傷法を提案した。さらに、申請者の所属する研究室で開発された“磁気補助材”を用いて物理的にき裂による信号を増幅するため、磁気補助材として本システムに最適な形状(幅、厚さ)、取り付け位置等の最適条件を導き出した。また、実際の石油タンク底板に生じるき裂を評価するため、試験片に溶接を施した後、これに放電加工できずを作製した。この試験片に対して開発したシステムで測定した結果からきず評価における誤差要因を分析し、ハード面とソフト面からき裂評価精度を向上させた。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,300,000	0	2,300,000
2008年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,000,000	210,000	3,210,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：材料工学・材料加工・処理

キーワード：(1) 非破壊検査 (2) MI センサー (3) 漏洩磁束探傷法 (4) 残留法

## 1. 研究開始当初の背景

石油タンク底板溶接部は、溶接による残留応力の発生及び形状が急変し、応力集中部となることから、き裂等が生じやすい。そのため、磁粉探傷法で検査することが消防法によって義務付けられている。しかし、現在の石油タンクの底板溶接部の検査は、塗膜が健全であっても、それを除去した後に検査が行われている。これは磁粉探傷法が優れたき裂検出能を有するものの、リフトオフ(試験片表面からの距離)に対する感受性が高く、防食用の塗膜が存在すると、き裂検出能が急激に低下するためである。従って、検査後に塗膜を塗り直す必要があり、塗膜を除去するサンドブラスト等の検査の前処理だけで工期 30 日、費用 1,000 万円と時間的、経済的負担が極めて大きいものとなっている。さらに、水を分散媒とする湿式磁粉探傷法は、検査に係る工程が多く、磁粉の散布方法、磁粉指示模様と疑似模様の区別、磁粉指示模様の解釈等、検査員の技量によるところが大きい。

そこで、石油タンク底板溶接部に適用可能な検査手法として、申請者は客観的な検査結果が得られ、塗膜を剥離する必要がない、“漏洩磁束探傷法”に着目した。漏洩磁束探傷法には、試験体材料の飽和磁束密度を作り出せる磁界を与えながら検査を行う“連続法”と、試験体にその材料の飽和磁束密度以上を作り出せる磁界を与えておいた後、その磁界を取り除いて残留磁化状態で試験体を検査する“残留法”がある。連続法での検査は、鉄鋼製品等のように形状が複雑でなく、試験体の表面状態が滑らかな場合、有効であるが、石油タンク底板溶接部のように形状が複雑な場合、溶接形状から生じる漏洩磁界等の雑音が多く生じ、き裂の検出が困難になること

が予想される。そのため、試験体形状によって生じる雑音を防ぎ、効率的に検査することができる残留法の適用を検討してきたが、残留法による漏洩磁束探傷法では、残留磁化状態での測定のため、き裂からの漏洩磁界の強度は大幅に低下した。

従って、申請者はき裂による漏洩磁界の検出に、最近実用化されたアモルファスワイヤの磁気-インピーダンス効果を利用した高感度な MI(Magneto-Impedance)センサを適用し、表面が平滑な試験片に施した放電加工による人工きずを対象にすでに研究を行ってきた。しかし、実際に溶接部に生じる実き裂は形状が複雑で開口幅も非常に狭く、ほとんど開口していないため、実き裂による信号はさらに小さくなり、きず信号をいかに精度良く測定するかが問題となる。

## 2. 研究の目的

上記の問題を解決するため、本研究では申請者の所属する研究室で開発された“磁気補助材”を用いた手法により、物理的にき裂による信号を増幅し、実き裂に対しても適用可能なき裂検出・評価システムを提案することを目的とした。そのために本研究では、磁気補助材として本システムに最適な形状(幅、厚さ)、取り付け位置等の最適条件を導き出すとともに、溶接部の実き裂を検出及び高精度に評価することができるシステムを開発する。磁気補助材とは強磁性体を磁気センサの後方に配置するもので、き裂による漏洩磁束をより多く空間に引き出すものである。

## 3. 研究の方法

本研究では、MI センサと磁気補助材を用いた残留法によるき裂の定量的評価システム

を開発するために、最適な磁気補助材となり得る強磁性体の材料を選定した後、有限要素解析から得られたき裂信号の増幅効果を確認するとともに、本システムの磁気補助材として最適な幅、厚さ、取り付け位置等を有限要素解析によって見出した。また、これらの解析結果及び実験結果を基に本システムを改良し、これを用いたき裂評価手法の検討を行った。ここで、本研究で提案した漏洩磁束探傷システムを図1に示す。さらに、実タンク底板溶接部の測定を見据え、MI センサが溶接形状に追従するプローブユニットを作製するとともに、wavelet 解析などのソフト面からの検討によっても、溶接形状及びコーティング厚さのばらつきから生じる雑音の除去を試みた。

以上の研究項目については、有限要素解析だけでなく申請者が行っている磁気双極子モデルを用いた解析的表現式による漏洩磁界の理論的解析によっても考察を行い、データ・知見を拡充し、き裂評価精度の向上につなげた。

さらに、これまでに得られた成果を基に、実際のタンクに生じるき裂を評価するため、試験片に実際に溶接を施した後、これに放電加工きずを作製した。この試験片に対して開発したシステムを用いてき裂評価を試み、評価結果と測定結果の誤差をき裂評価手法にフィードバックし、き裂評価精度の向上を図った。

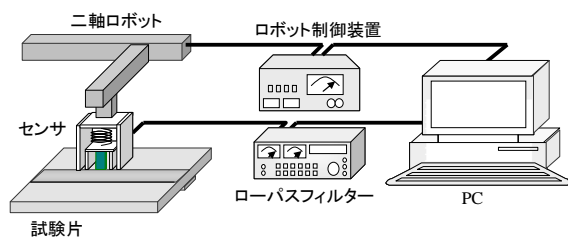
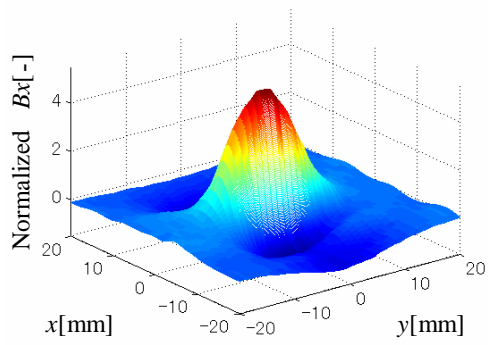


図1 溶接部きずの残留漏洩磁束密度計測システム

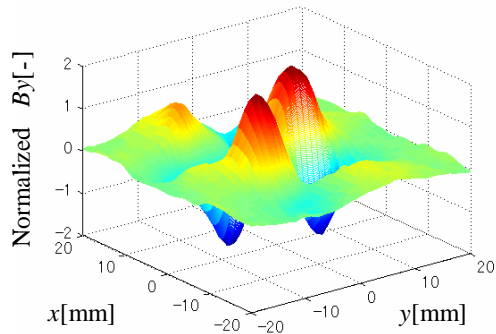
#### 4. 研究成果

本研究で提案したシステムで測定した結果に、雑音処理を施した後の典型的な測定結果の一例を図2に、有限要素解析で得られた典型的な解析結果の一例を図3に示す。また、本研究で得られた成果をまとめると以下のようなになる。

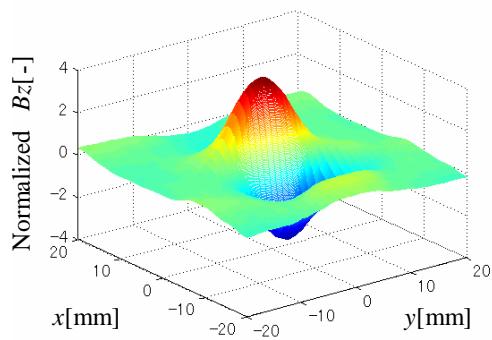
- (1) MI センサを用いることで、従来の磁気センサでは困難であった残留法による漏洩磁束探傷法が適用可能なことを確認した。
- (2) 残留磁化状態では、磁化方向に対して垂直に不連続となっている部分に残留磁荷が形成されると考えられる。そのため、きず断面積が大きいほどきず信号が大きくなる。これを利用することできずの定量的評価が可能であることがわかった。
- (3) 有限要素法による数値解析シミュレーションにより、きず部近傍の残留漏洩磁界を理論的に計算した。これらの結果から  $B_y$  成分のピーク間距離はきずの長さと同程度一致していることおよび  $B_x$ ,  $B_z$  の振幅  $\Delta B_x$ ,  $\Delta B_z$  ときず断面積の間には比例関係があることが分かった。このことからきず断面積をきず長さで除することにより、きず深さを算出することが可能であった。
- (4) 有限要素解析で磁気補助材の材質、形状を検討した。磁気補助材の材質として SS400 鋼を用いて円筒型の磁気補助材では 13%、平行棒型の磁気補助材では 30% ほど  $\Delta B_z$  が増幅されることがわかった。



(a)  $B_x$

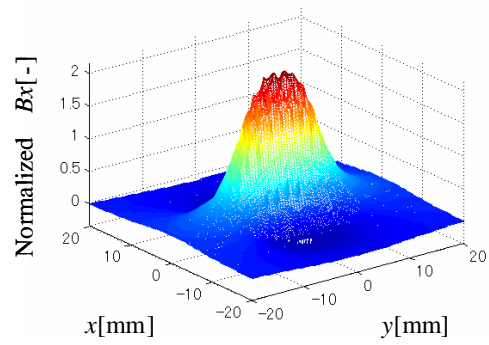


(b)  $B_y$

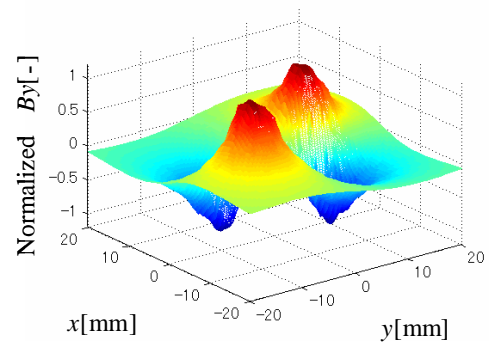


(c)  $B_z$

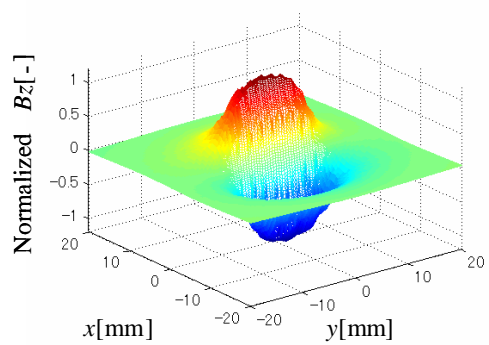
図2 本研究の測定システムで得られた測定結果の一例



(a)  $B_x$



(b)  $B_y$



(c)  $B_z$

図3 本研究の測定システムで得られた解析結果の一例

- (5) 残留漏洩磁界を測定したところ、装置などから発生する高周波ノイズ、および試験片端部などから受ける低周波ノイズ（バックグラウンドノイズ）が混在する信号が得られた。本研究では Daubeshies マザーウェーブレットを用いた多重ウェーブレット解析によりこれらのノイズを取り除いた。
- (6) 有限要素解析と同じように、得られたきず信号から  $B_y$  信号できず長さを、 $B_x$ 、 $B_z$  信号からきず断面積が評価可能であった。この結果からきずの位置ときず深さを評価するプログラムを試作した。
- (7) 突合せ溶接部の放電加工きずに対して、同手法の適用を試みた。信号処理のみでは溶接盛の形状からの信号に大きく影響を受けるため、きずがない部分の信号を差し引くことでこの影響を取り除くことが可能であることを示した。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計 1 件)

Naoya KASAI, Takao MIZOGUCHI, Toshiyuki OIKAWA, Hiroyuki KOSHINO and Kazuyoshi SEKINE, MFL technique for surface flaws of the weld zone with residual magnetization method, Proc.17th WCNDT, 2008 年 10 月, 中国上海

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

笠井 尚哉(KASAI NAOYA)

国立大学法人横浜国立大学・大学院環境情報  
研究院・准教授

研究者番号：20361868

(2) 研究分担者

(3) 連携研究者