

低周波渦電流を用いた腐食鋼部材のさび層・残存板厚同時検知手法の検討

東京工業大学 学生会員 ○阿久津 絢子
東京工業大学 正会員 佐々木 栄一

1. はじめに

鋼構造物において部材の腐食は安全性や耐久性を低下させる重大な損傷形式である。現行の点検は主に目視点検により行われているが、部材裏面の変状や減肉の程度など外観のみでの判断は困難となる場合がある。また、点検技術の継承が困難であることや労働力不足なども問題として挙げられる。一方で、近年腐食損傷により鋼部材の耐力が低下する傾向が明らかにされ、残存耐力の評価方法についての研究も多く進められてきているが、耐力評価の多くは設計板厚と残存板厚の比に基づいた方法として提案されており、残存板厚の計測は耐力を評価する上で重要となる。そこで本研究では非破壊検査である渦電流探傷試験¹⁾に着目し、小型で持ち運びに優れ、より簡便に局所的な情報を取得するとともに、さび厚や残存板厚等の腐食損傷情報を取得可能である新たな分析手法の提案を目的として検討を行った。特に本研究では、1~1000Hz程度の低周波渦電流の位相と一度に多くの板厚情報が取得可能なスイープ波に着目し、アクセスのしやすい面での計測を想定し、表面または裏面どちらか片面のみの検査から、残存板厚やさび層の厚さといった腐食損傷状態の分析を可能とする手法を目指す。

2. 検討する腐食損傷

本研究では従来の渦電流探傷で対象とされてきた亀裂や傷ではなく、表面、裏面それぞれの腐食、それらが同時に起こる場合の3パターンの腐食による損傷を対象としている。また、さび層や残存板厚情報を取得するため、それらをコイルと導体表面の相対距離であるリフトオフと板厚として模擬した。表面腐食が起こる場合、コイルと部材の健全部との間に生じるさび層をリフトオフの変化とし、腐食により減肉が生じている場合を板厚の変化と見なす。裏面腐食の場合は、表面さびではなく減肉が生じるため、板厚の変化として扱う。以上のように板厚とリフトオフをパラメータとして変化させ、残存板厚とさび層（健全部までの腐食深さ）を取得するための検討を行う。

3. 損傷状態の違いによる動磁場特性の差に着目したさび層・残存板厚同時検知手法の提案

本研究では、鋼材の平板モデルを用い、直径 16.4mm、高さ 3.7mm、巻数 400 の小型コイルを使用し、パラメータとして板厚を 6~9mm、リフトオフを 0~0.3mm と設定した解析により以下の渦電流の基本的特性を得た。評価指標を渦電流試験では一般的な検出電圧とした場合、板厚が大きいほど検出電圧が大きくなり、リフトオフが大きいほど検出電圧が小さくなる傾向を確認した。その変化はリフトオフが相対的に大きいことが明らかとなった。一方で、スイープ波を用いて得た位相を評価指標とした場合、図-1に示すように 90°から始まり、高周波に向かうにつれて位相が小さくなることが確認された。検出電圧の傾向と同様にリフトオフ

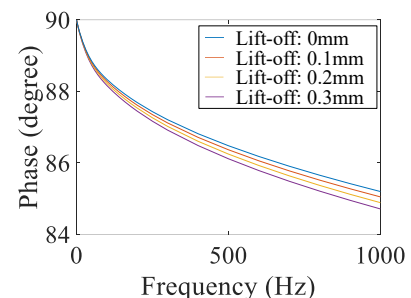


図-1 渦電流試験の位相特性

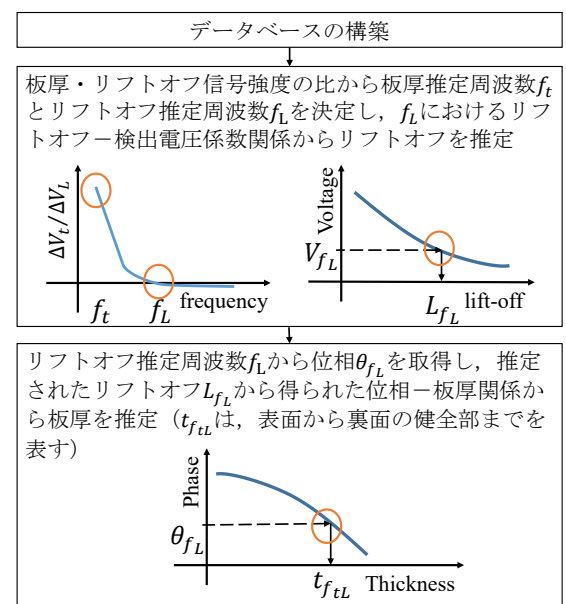


図-2 腐食損傷状態分析手法のフロー

キーワード 低周波渦電流, 腐食, 非破壊検査, 残存板厚, リフトオフ

連絡先 〒1528552 東京都目黒区大岡山 2-12-1 緑ヶ丘 1 号館 TEL 03-5734-3478

フは高周波に向かうにつれて差が大きくなっていることが確認された。さらに検出電圧で評価する場合は高周波で板厚変化を捉えることは渦電流損の影響等で困難であったが、位相を用いることで高周波においても取得可能であることが確認された。しかしながら、ある周波数（例えば 100Hz）において位相が他の周波数帯とは異なる傾向を示していることも確認された。これは対象鋼材の透磁率変化やコイルの特性等による影響であると考えられ、対象鋼材によりその変化傾向が異なることが想定される。そのため、実構造物にこの手法を適用する場合は、はじめにスイープ波を用いて対象構造物と同じ材料においてデータベースを得る必要があると考えられる。

本解析による検討結果から提案する腐食損傷状態分析手法のフローを図-2 に示す。具体的には、まず 1~1000Hz まで変化するスイープ波を板厚変化、リフトオフ変化があるキャリブレーション試験体に励磁し、その結果からリフトオフ推定周波数を取得する。そのリフトオフ推定周波数を対象構造物に励磁し、検出電圧と位相をそれぞれ指標として用いることにより、同時にリフトオフと板厚を検出することが可能となる。検出電圧を指標とすると、板厚取得は極めて低周波（10Hz 程度）で行う必要があるが、位相を用いることにより、励磁周波数を変化させることなく、一度の測定でリフトオフと板厚を取得可能となる。

4. 提案手法に関する実験的検討

本章では、提案手法の適用性を確認するため、試験体として板厚を階段状に変化させたキャリブレーション用の鋼板を用いて実験的に検討を行った。図-3 に計測システムと鋼板試験体（9, 8, 7, 6 mm の階段状）を示す。使用したコイルの条件は解析と同様である。実験は全て 5 回データを取得し、その平均値を用いて評価を行っている。検出電圧を指標としたリフトオフ特性は解析と同様の結果を示した（図-4）。一方で、位相を指標とした場合は解析結果よりも位相の減少傾向が強いが、90°から高周波に向かうにつれて減少する同様の傾向を捉えることができた。これらの差異は前章でも示した通り、透磁率変化やコイルの特性等が影響していると考えられる。図-5 に本実験によって得られた板厚推定のためのマスターカーブの一例を示す。リフトオフによらず板厚に変化に対して同様の傾向を示すことから、推定されたリフトオフに合わせたマスターカーブを算出することが可能である。これらの結果から図-4、図-5 に示すマスターカーブを用いることにより、板厚とリフトオフを推定することが可能であり、提案手法は実験においても適用可能であることが確認された。

5. まとめ

本研究では腐食生成物や塗膜の除去やケレン等の事前処理・事後処理を伴わず、小型でより簡便にさび厚や残存板厚等の腐食損傷情報を取得可能となる低周波渦電流を用い、鋼部材の表または裏面どちらか一方の面からの検査により腐食損傷状態を分析する新たな手法を提案するため、数値シミュレーション及び実験に基づく検討を行った。実験により解析で明らかにした渦電流特性を再現し、スイープ波励磁に基づく検出電圧と位相を指標とした比較的小型なプローブでのさび層と残存板厚の取得可能性を示した。位相を評価指標として取り入れることにより、さび層と残存板厚情報が同時に取得可能となり、より簡易な計測システムとなった。

参考文献

- 1) 村越潤, 高橋実, 飯塚拓英, 小野秀一: 腐食鋼部材の残存板厚計測への各種計測技術の適用性の検討, 構造工学論文集, Vol.59A, pp.711-724, 2013.

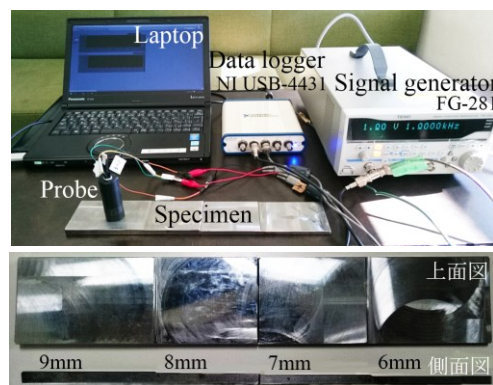


図-3 計測システム, キャリブレーション試験体

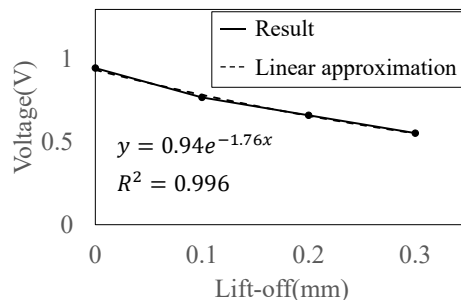


図-4 リフトオフ推定マスターカーブ

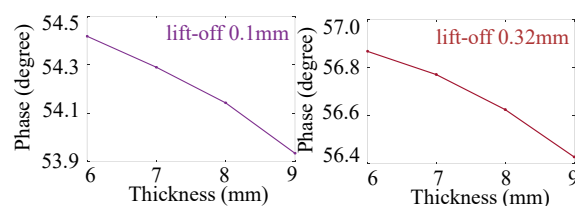


図-5 板厚推定マスターカーブ