

渦電流による配電線非破壊検査に関する基礎的検討

Nondestructive Detection of Cracks for a Distribution Line, Using Eddy Current Test

吉見 秀幸・野中 崇・佐藤 文博・松木 英敏・佐藤 忠邦*

東北大学大学院工学研究科, 仙台市青葉区荒巻字青葉 05 (〒980-8579)

*NECトーキン株式会社, 仙台市太白区郡山 6-7-1 (〒982-8510)

H. Yoshimi, T. Nonaka, F. Sato, H. Matsuki, and T. Sato *

Graduate School of Engineering, Tohoku University, Aoba 05, Aramaki, Aoba-ku, Sendai 980-8579

*NEC Tokin Corporation, Koriyama 6-7-1, Taihaku-ku, Sendai 982-8510

We report experimental results of an eddy current test. When an excitation coil is brought close to a conductor, an eddy current is induced in the conductor. If there is a crack in the conductor, the eddy current will avoid that area, causing variation in the magnetic field generated by the eddy current. We examined how effectively the differential motion method could be used to detect the magnetic field change through the output voltage difference between two coils. We report characteristics of detecting coil output voltage and phase difference characteristics between excitation current and the output voltage and frequency characteristics of the detecting coil output voltage.

Key words: nondestructive detection, distribution line, eddy current, excitation coil, detecting coil

1. はじめに

我々の日常生活において、電気は必要不可欠なものとなっている。電気は発電所で作られ、送電線、変電所、配電線、電柱上の変圧器をたどって家庭へ届けられる。これらの電気設備のうち配電線は、膨大な設備を有し、過酷な自然環境に曝されている。このため、風雨や経年的な劣化などにより導体に傷が生じることがある。配電線内部へ腐食成分(NO_3^- , SO_4^{2-} , NH_4^+)を含有した雨水等の浸入により導体が腐食し、表面に酸化銅被膜が形成される。この結果引張応力により、強度の弱くなった酸化銅被膜が割れ、内部のまだ腐食していない銅が露出する。さらに、割れ部分に雨水が浸入すると腐食が進行し断線に至る。これが配電線の主な劣化原因である。

今日の配電線は絶縁被覆が施されており、目視にて導体の傷を発見することは不可能である。現在の対処方法は、腐食原因が導体の酸化によることから、配電線内に溜まった水分を試験紙により分析し、 NO_3^- , SO_4^{2-} , NH_4^+ 等の腐食性イオンを検出することで導体の酸化の程度を調査し診断している。しかしながら、この方法は実際の傷の程度を直接的に示すものではないため、大まかな指針にすぎない。そのため、外見では傷が見られないため、定期的に配電線の交換を行っている。その場合、まだ十分使用可能な配電線の取替えを実施したり、取替えが遅れて事故を発生させてしまう等の問題があり、また作業コストもかかって

しまい安定した送電には膨大な維持費用がかかる。

現在ある非破壊検査法として、放射線、超音波および渦電流¹⁾などを用いた方法が挙げられるが、配電線の探傷を行うにあたり、膨大な設備を対象にすることから探傷のスピードが重要であるとともに検査効率が重視される。また、機器の小型化等も必須である。我々が既に提案している配電線の周囲磁界変化を測定することで検査する方法²⁾は、活線状態における検査の可能な優れた方式であるが、確率的的手法を含むため難点がある。そこで渦電流探傷との併用を提案する。併用の効果は、渦電流探傷については傷に対する感度はいいが、傷以外の出力である配電線との相対位置が変わった場合の影響がかなり出てしまうのに対し、配電線の周囲磁界変化を測定することで検査する方法については、小さな傷に対しては検出が困難であるが、配電線との相対位置が変わった場合でもノイズとしては出力しにくいので、特性の違う2つの方法を併用することで探傷確度をあげられる可能性がある。

本論文は、配電線のような撚り線構造において渦電流探傷を行い、最適なコイル形状、傷に対する最適な周波数について検討したので報告する。

2. 単銅線による検討

2.1 実験方法

今回実験で使用した渦電流探傷は、ソレノイドコイル内の一様な磁界において、導体の傷による渦電流の変化を2つのコイル間の誘起電圧差として検出する差動方式³⁾である。

Fig. 1に渦電流探傷の実験方法を示す。Fig. 2に示すように、ソレノイドコイルを使用し、励磁コイルの直径15 mm、巻数150 turns、検出コイルは、直径7 mm、また、2つのコイルを逆極性になるようにそれぞれ巻数50 turnsとした。周波数50 kHz、励磁電流を300 mAとし、単銅線の軸方向をX方向とし、2つの検出コイルの中央を原点とした。単銅線をX方向に移動させ、傷がコイルを通過した場合の検出コイルに誘起される電圧と位相をロックインアンプで測定した。Xは単銅線の傷の位置を表す。ロックインアンプの参照信号として、励磁コイルに流れる電流を用いた。

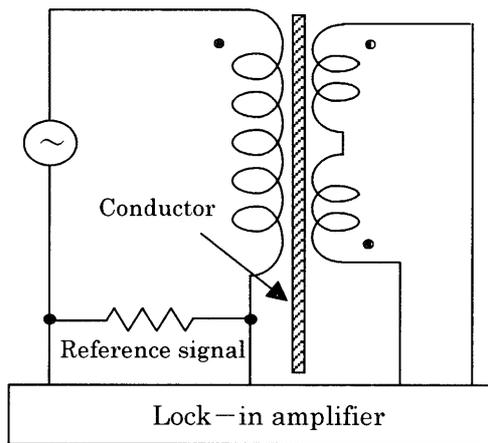


Fig.1 Schematic of eddy current test.

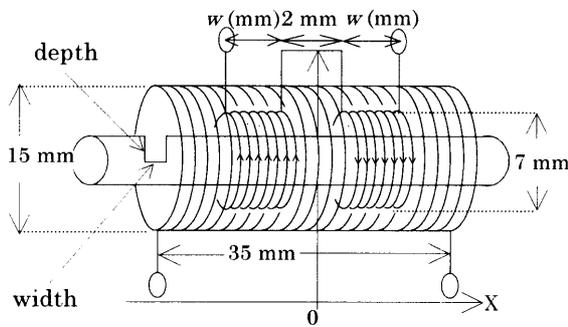


Fig. 2 Schematic of coils.

2.2 検出コイルの幅を変えた場合の実験結果

配電線を想定した場合、傷は、Fig. 2に示すように幅、深さを設定した場合、幅1 mm程度と予想される。そこで、直径3 mmの銅線に傷の幅を1 mm、深さ1.5 mmとした場合の検出コイルの最適な形状について検討した。用いた検出コイルは、Fig. 2に示すように巻数を50 turns一定とし、

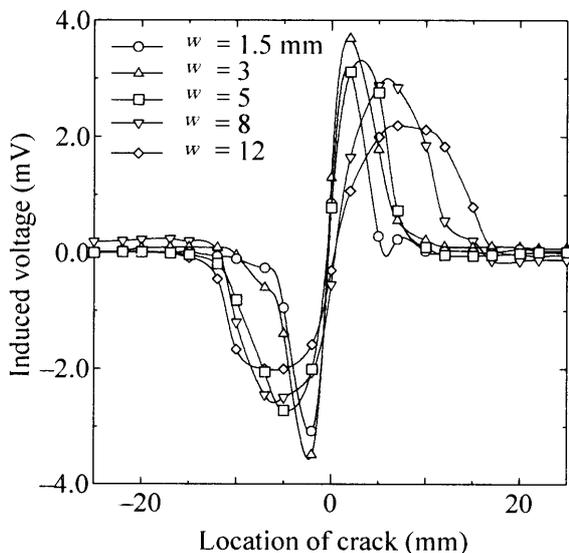


Fig. 3 Characteristics of detecting coil output voltage.

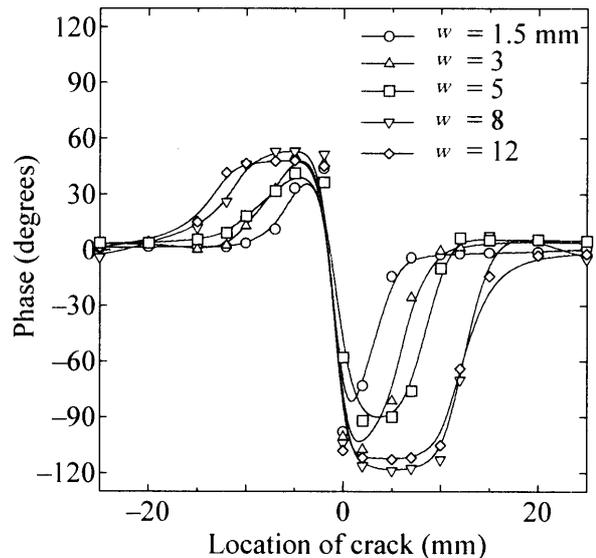


Fig. 4 Phase difference characteristics between excitation current and detecting coil output voltage.

$w = 1.5, 3, 5, 8, 12$ mm と変えた場合の誘起電圧と位相を測定した。

Fig. 3に検出コイルの幅を変えた場合の誘起電圧、Fig. 4に励磁コイルに流れる電流と検出コイルに誘起される電圧の位相差を示す。グラフの横軸は、X方向における単銅線の傷の位置である。Fig. 3の誘起電圧は、測定値と傷がない場合の出力であるオフセット電圧の差をとった。傷が検出コイル内にある場合は、2つの差動コイルの誘起電圧に差が生じる。また、検出コイルの幅が3 mmの場合、傷による誘起電圧の変化が一番大きくなることが確認できる。これは、渦電流の変化による磁界分布の変化が大きく現れている領域が傷の幅よりも多少大きいためである。位相差については、コイルの幅が8 mmの場合が位相差が大きくなるが、誘起電圧と位相両方から判断すると、傷による山と谷の出力波形が鋭いほど検出しやすいことから検出コイルの幅3 mmが最適であるといえる。

2.3 検出コイルの大きさを変えた場合の実験結果

配電線に渦電流探傷の適用を考えた場合、配電線の導体部分と検出コイルとの距離は、最低でも5 mm以上離さなければならないと考えられる。また、配電線の傷の大きさとしては、幅1 mm、深さ0.5 mmの検出が望まれる。そこで傷を幅1 mm、深さ0.5 mmとし、検出コイルの巻数を一定にし、直径 d を3, 5, 7, 9, 11, 13 mmと変えた場合の誘起電圧を測定した。Fig. 5に単銅線をX方向に移動させ、傷がコイルを通過した場合の検出コイルに誘起される電圧を示し、Fig. 6にそれぞれの検出コイルにおける誘起電圧の変化量を示す。

単銅線と検出コイルとの距離が5 mmである $d = 13$ mmの場合、 $d = 3$ mmと比べて変化量が3.5 mV減少、約80%減少しているが、1 mVの誘起電圧の変化が見られるので

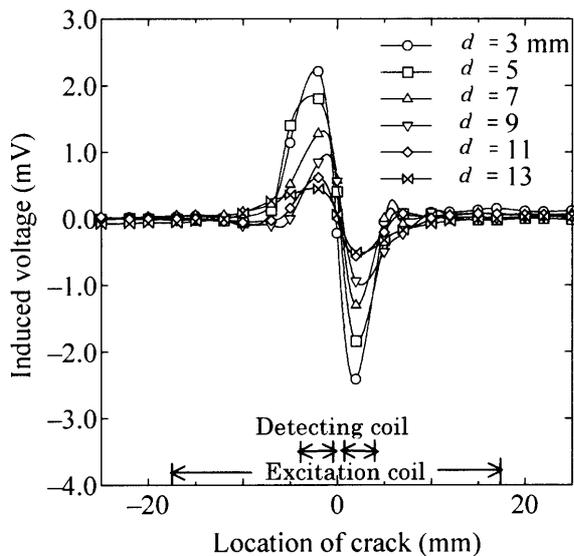


Fig. 5 Output voltage with respect to size of the detecting coil.

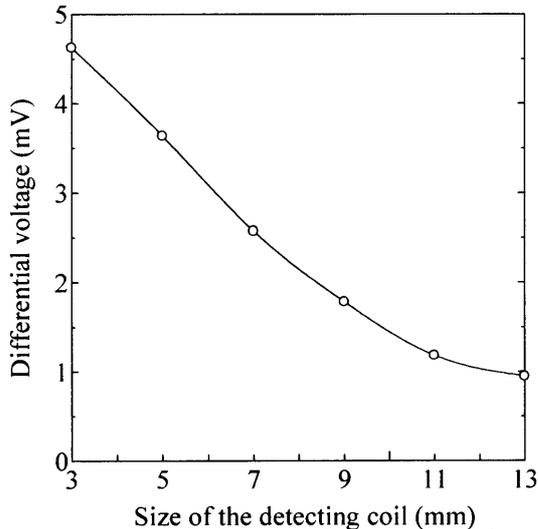


Fig. 6 Differential voltage with respect to size of the detecting coil.

配電線に渦電流探傷を適用した場合に傷による誘起電圧の変化が期待できる。

3. 配電線による検討

渦電流探傷を配電線に適用した場合、目標である幅 1 mm、深さ 0.5 mm の傷の検出を行う際、2つのコイル間の誘起電圧差を利用しているため、欠陥による誘起電圧変化が最大となる周波数を選ぶ必要がある。Fig. 7 に示すように、励磁コイルの直径 22 mm、巻数 150 turns、検出コイルは、直径 21 mm、また、2つのコイルを逆極性になるようにし、それぞれ巻数 50 turns とした。使用した配電線は 6.6 kV 用架橋ポリエチレン絶縁電線 SN-OC (断面積 60 mm²)、傷は Fig.2 に示すように素線 1 本に幅 1 mm、深さ 0.5 mm とした。また、励磁電流を 300 mA とし、配電線の軸方向を X 方向とし、2つの検出コイルの中央を原

点とした。周波数 30、50、70 kHz と変えた場合の検出コイルに誘起される電圧と位相をロックインアンプで測定した。Fig. 8 に周波数を変えた場合の誘起電圧、Fig. 9 に励磁コイルに流れる電流と検出コイルに誘起される電圧の位相差を示す。Fig.9 の誘起電圧は、測定値と傷がない場合での出力であるオフセット電圧の差をとった。

Fig. 8 から周波数が高くなるにつれて傷による誘起電圧の変化が大きくなることを確認できる。しかしながら周波数が高くなるにつれて、今回用いた配電線が多少曲がっているため、コイルとの相対位置がずれている影響を受けやすく、実際コイルを配電線に設置し走行させた場合のコイルのふらつきを考えると周波数は 50~70 kHz が適している。また、その場合に誘起電圧の変化量は 0.6 mV 程度であることから、配電線において幅 1 mm、深さ 0.5 mm の傷の検出が行えることが確認できる。Fig. 9 の位相差のグラフからは、どの周波数においても傷による位相変化は 2~3 度と小さくなっているが、傷がない場合での位相差を調節することにより更なる位相差の改善が期待できる。また、Fig. 8 と Fig. 9 から単銅線の場合と比較して、撚り線の影響から山と谷の位置が多少ずれていることが確認できる。

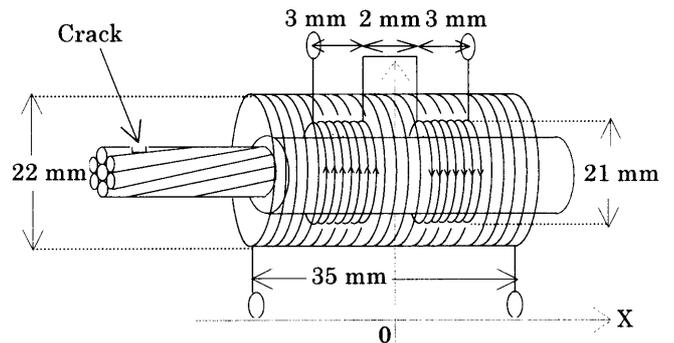


Fig. 7 Schematic of coils.

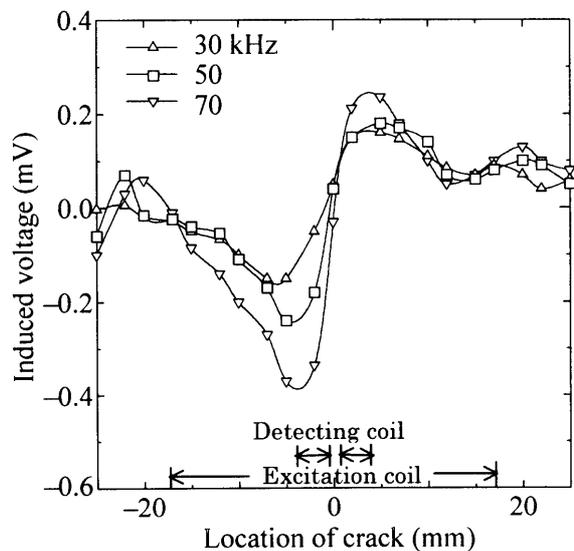


Fig. 8 Characteristics of detecting coil output voltage.

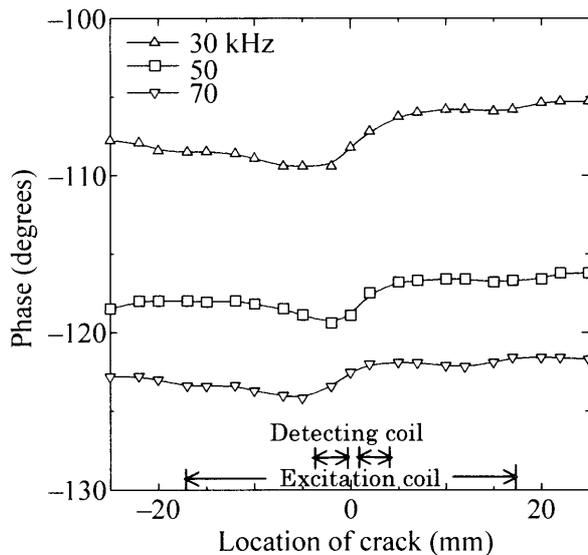


Fig. 9 Phase difference characteristics between excitation current and detecting coil output voltage.

4. まとめ

渦電流探傷により、直径 3 mm の単銅線および配電線において、検出コイルに誘起される電圧と位相を測定することによって幅 1 mm、深さ 0.5 mm の傷の検出を行えることが確認できた。

また、幅 1 mm 程度の傷においては、検出コイルの幅を 3 mm にすることにより傷による誘起電圧の変化が最大になることが実験により確認できた。

渦電流探傷を配電線に適用した場合、目標である幅 1 mm、深さ 0.5 mm の傷においては、配電線とコイルとの相対位置が多少ずれた場合を考慮して最適な周波数を決定できた。

今後の課題としては、今回は配電線の傷の幅 1 mm、深さ 0.5 mm についての検討を行ったが、傷の形状をさらに小さくした場合についての検討とその場合における周波数の選定を行う予定である。また、検査速度とそのときのコイルと配電線との相対位置の変化をどの程度まで抑えることができるかについて検討を行う予定である。

文 献

- 1)JSNDI : New nondestructive inspection handbook, pp.3-12 (The nikkon kogyo shimbun, Tokyo, 1992)
- 2)T. Nonaka, F. Sato, H. Matsuki, Trans. IEE Japan, 121-A, 282 (2001).
- 3)JSNDI : Eddy current inspection A, pp.40-50 (1978)

2002年10月7日受理, 2003年1月17日採録